

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE
VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES
DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL

Autora: Eva María CORRERO LUQUE

Fecha: Octubre 2009





FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA
CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

DOCUMENTO I: MEMORIA

D^a. EVA MARÍA CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

**MEMORIA
DESCRIPTIVA**

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTOS	DESCRIPCIÓN
1	Memoria Descriptiva
Anexo I	Dimensionamiento de la caldera
Anexo II	Dimensionamiento del serpentín
Anexo III	Diseño del sistema de tuberías
Anexo IV	Dimensionamiento de la válvula de control
Anexo V	Estudio de rentabilidad de combustible
Anexo VI	Tablas y gráficas
Anexo VII	Catálogos
Anexo VIII	Especificaciones y Hojas de Seguridad
2	Planos
3	Pliego de condiciones
4	Presupuesto

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	ANTECEDENTES.....	5
2.1	ACEITE DE PALMA	5
2.1.1	Introducción	5
2.1.2	Proceso de obtención	5
2.1.3	Características.....	7
2.1.4	Producción y comercio mundial del aceite de palma	9
2.2	BIODIÉSEL.....	11
2.2.1	Introducción	11
2.2.2	Marco regulatorio	12
3	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	15
3.1	OBJETO.....	15
3.2	JUSTIFICACIÓN.....	15
3.3	UBICACIÓN	16
4	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN	19
5	CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN.....	21
5.1	CALDERA.....	21
5.1.1	Introducción	21
5.1.2	Principales tipos de calderas	22
5.1.3	Criterios de selección y diseño de calderas	25
5.1.3.1	Cálculo del caudal de vapor requerido	25
5.1.3.2	Cálculo de la potencia requerida	29
5.1.3.3	Selección de la caldera	29
5.2	QUEMADORES.....	31
5.2.1	Clasificación de los quemadores	31
5.2.2	Selección del tipo de quemador	34
5.3	UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	35
5.3.1	Introducción	35
5.3.2	Problemas derivados de la utilización del agua en calderas.....	35
5.3.3	Osmosis Inversa.....	36
5.3.3.1	Selección de la unidad de osmosis inversa	38
5.3.4	Desgasificador.....	39
5.3.4.1	Selección del desgasificador	41
5.3.5	Sistema desgasificador/bombas/caldera.....	41
6	SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	43
6.1	INTRODUCCIÓN	43
6.2	DISEÑO DE TUBERÍAS	43
6.2.1	Material de construcción de las tuberías	44
6.2.2	Aislamiento térmico	47
6.2.2.1	Selección del material de aislamiento.....	47
6.2.3	Dimensiones de las tuberías. Cálculo del diámetro y espesor	47
6.2.4	Caída de presión.....	49
6.3	ACCESORIOS	51

7	VÁLVULA DE CONTROL	53
7.1	INTRODUCCIÓN	53
7.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE CONTROL	54
8	SERPENTÍN.....	57
8.1	INTRODUCCIÓN	57
8.2	CONFIGURACIÓN DEL SERPENTÍN.....	57
8.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SERPENTÍN	58
8.3.1	<i>Diseño Térmico.....</i>	<i>59</i>
8.3.2	<i>Diseño Mecánico.....</i>	<i>60</i>
8.4	PÉRDIDAS DE CARGA.....	67
8.5	ESTUDIO ECONÓMICO.....	67
8.6	SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL SERPENTÍN	68
9	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO	69
9.1	INTRODUCCIÓN	69
9.2	INSTRUMENTACIÓN	70
9.2.1	<i>Temperatura</i>	<i>70</i>
9.2.2	<i>Presión.....</i>	<i>71</i>
9.2.3	<i>Nivel</i>	<i>71</i>
9.3	CONTROL	72
9.3.1	<i>Fundamento de control.....</i>	<i>72</i>
9.3.2	<i>Identificación y simbología en instrumentación.....</i>	<i>73</i>
9.3.3	<i>Sistemas de control</i>	<i>78</i>
9.3.4	<i>Estrategia de control.....</i>	<i>79</i>
10	SEGURIDAD E HIGIENE	83
10.1	INTRODUCCIÓN	83
10.2	LEGISLACIÓN APLICABLE	84
10.3	ANÁLISIS DE RIESGOS Y ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS PREVENTIVAS	85
10.3.1	<i>Riesgos en máquinas.....</i>	<i>85</i>
10.3.2	<i>Riesgos en la instalación.....</i>	<i>86</i>
10.3.3	<i>Riesgos químicos</i>	<i>87</i>
10.3.4	<i>Riesgos físicos.....</i>	<i>88</i>
10.3.5	<i>Riesgos de explosión.....</i>	<i>90</i>
10.4	SEGURIDAD EN SALA DE CALDERAS.....	91
10.5	CONTROLES PARA EL MANEJO Y SEGURIDAD DE LA CALDERA.....	92
10.5.1	<i>Controles para manejo y seguridad de agua.....</i>	<i>92</i>
10.5.2	<i>Controles para manejo y seguridad de combustible</i>	<i>92</i>
10.5.3	<i>Controles para el manejo y seguridad del aire de combustión.....</i>	<i>93</i>
10.5.4	<i>Control para el manejo y seguridad de calderas moduladas</i>	<i>93</i>
10.5.5	<i>Controles para manejo y seguridad de llama.....</i>	<i>93</i>
10.5.6	<i>Control para seguridad de gas en chimenea</i>	<i>93</i>
10.5.7	<i>Válvulas de seguridad.....</i>	<i>94</i>
10.5.8	<i>Purgas.....</i>	<i>94</i>
11	BIBLIOGRAFÍA	95

1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de encontrar alternativas energéticas en los últimos tiempos, surge debido al crecimiento de la población, la mejora de la calidad de vida y el aumento de la demanda energética, así como el agotamiento de los recursos fósiles, el incremento de las emisiones de contaminantes (que se sitúan por encima de la capacidad de regeneración de los ecosistemas) y el hecho de que dos terceras partes de las reservas petrolíferas están en la inestable región del golfo Pérsico. En este contexto, los biocombustibles pueden contribuir de forma importante a la solución de los problemas, tanto como combustibles alternativos y renovables, como por sus ventajas medioambientales, por su significativa reducción de emisiones de gases de efecto invernadero responsables del cambio climático.

El biodiésel es un combustible limpio y renovable que además contribuye a la conservación del medio ambiente, gracias a la utilización como materia prima de aceite vegetal.

El aceite vegetal se extrae de la semilla cultivada dejando atrás la pulpa, que puede ser usada para forraje animal. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción del biodiésel son la colza, la soja, el girasol y la palma. Cada aceite tiene sus propias características, siendo sin duda una de ellas la viscosidad. Por ello, en ocasiones es necesario su calentamiento, para facilitar su manipulación.

Las calderas de vapor son maquinas que generan vapor de agua, el cual tiene gran cantidad de aplicaciones en la industria sobre todo como generador de energía mecánica y transmisor de energía calórica. Es precisamente en esta línea en la que se inserta el presente Proyecto Fin de Carrera.

2 ANTECEDENTES

2.1 Aceite de palma

2.1.1 Introducción

El aceite de palma se obtiene del fruto de la palma (*Elais guineensis*). Originaria del golfo de Guinea, en África Occidental, en la actualidad el cultivo de palma se ha extendido por todas las regiones tropicales del mundo, siendo su hábitat natural los trópicos húmedos, 15° grados al norte y al sur de la línea Ecuatorial. Debido a su mejor rendimiento por hectárea, sus bajos costes de producción y sus múltiples usos, la palma se ha convertido en la principal fuente de aceite vegetal del planeta por delante de la soja, con más de 37 millones de toneladas producidas al año (31% de producción mundial de aceite comestible). Hoy la palma se produce de forma industrial, y las compañías productoras venden el aceite a un amplio rango de clientes: refinadoras, minoristas, industria agroalimentaria, y plantas de biocombustibles.

2.1.2 Proceso de obtención

La producción de frutos en una plantación de palma es continua. Existe un período del año en el cual se alcanza un pico en la producción y ello se debe a las características del ciclo biológico de la palma de aceite. Entre los meses de mayo y noviembre las palmeras alcanzan el máximo potencial de rendimiento anual. Es importante destacar, que el inicio del período coincide con el ingreso al circuito comercial de la oferta de aceite de soja sudamericana aumentando la competencia entre ambos aceites.

De la palma se utilizan los frutos, tanto la pulpa como la almendra (ver *Figura 2.1*), de aquí a que se obtengan distintos tipos de aceite:

El aceite de palma rojo, o “*aceite de palma*” propiamente dicho, se obtiene de la pulpa. Representa entre el 18-26 % del peso fresco de un racimo.

El aceite de palmiste se extrae de la almendra de la semilla del fruto de la palma. Representa entre un 3-6 % del peso fresco del racimo. Su composición química es completamente diferente a la del aceite de palma rojo. El aceite de palmiste es semi-sólido a temperatura ambiente.

Los residuos sólidos de la cascarilla de la almendra llamados *torta de palma* o *torta de palmiste* son valorados en alimentación animal.



FIGURA 2.1: FOTOGRAFÍA DEL FRUTO DE LA PALMA.

El proceso comienza con la recepción de la fruta fresca para que luego los racimos sean sometidos a un proceso de esterilización con lo que se busca:

- ▶ Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite.
- ▶ Ablandar el pedúnculo de unión de los frutos con su soporte natural.
- ▶ Debilitar los tejidos de la pulpa.
- ▶ Calentar y deshidratar parcialmente las almendras contenidas dentro de las nueces.
- ▶ Coagular las proteínas e hidrolizar la materia mucilaginoso, contenida en la pulpa del fruto.

A continuación, se procede con el proceso de desfrutamiento que consiste en la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis vacíos. Se utiliza el desfrutador llamado tambor rotatorio, de gran diámetro y longitud extendida, esta última con el fin de favorecer la recuperación de los frutos interiores que aparecen en los racimos como consecuencia de la infusión de insectos polinizadores en las plantaciones.

Seguidamente, toma lugar la digestión cuyos objetivos son:

- ▶ Desprender la pulpa de las nueces y romper las celdas para liberar el aceite que ellas contienen.
- ▶ Recalentar la masa de los frutos y darle el contenido de humedad conveniente para preparar la extracción.

- ▶ Separar de la masa de frutos digerida, la fracción líquida, compuesta en su mayor parte por aceite de pulpa de palma y además por agua y una cierta cantidad de sólidos que quedan en suspensión en la misma.

El siguiente proceso es el de clarificación. Su objetivo es separar el aceite de palma puro, de los otros componentes del líquido bruto provenientes de la extracción. Este proceso se basa en el hecho de que el aceite y el agua son inmiscibles y tienden a separarse en dos capas de tal manera que el líquido de menor densidad (el aceite) se va hacia arriba: la centrifugación acelera tal separación.

2.1.3 Características

El aceite crudo presenta un color rojo anaranjado muy fuerte, debido al alto contenido en carotenoides, que alcanza niveles de 500-700 miligramos por litro.

El caroteno se destruye en el proceso de refinación, mediante el cual se produce el aceite de color claro, el cual es preferible por la mayoría de los consumidores.

El fraccionamiento del aceite de palma permite obtener por un lado la oleína de palma, que es líquida a temperatura ambiente y por el otro la estearina de palma, de alto punto de fusión y que a la misma temperatura permanece sólida. Con un método de fraccionamiento más complejo, se puede obtener una tercera fracción, denominada intermedia, con propiedades que oscilan entre la oleína y la estearina y conteniendo aproximadamente un 60,0% de ácido palmítico y un 40,0% de ácido oleico.

El aceite de palma reúne varias características importantes que determinan una gran versatilidad para ser utilizado en la alimentación y en la industria. Por un lado, tiene un alto contenido en glicéridos sólidos, lo que le confiere una gran consistencia sin necesidad de hidrogenación. Es muy resistente a los procesos oxidativos, lo que le confiere una vida útil muy larga, con la consiguiente posibilidad de ser almacenado durante mucho tiempo.

También su contenido de triglicéridos de punto de fusión alto, permite su inclusión en la formulación de productos con un rango plástico muy alto, ideal para climas muy cálidos y para muchas aplicaciones industriales. El aceite de palma refinado, es semisólido a temperatura ambiente (20°-22°), contiene una baja cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, la presencia de antioxidantes naturales junto con la ausencia del ácido linolénico confieren una excelente estabilidad al aceite y a la oleína de palma.

A continuación se muestra algunas de sus propiedades físicas y químicas:

<ul style="list-style-type: none"> • Forma : de pastosa a sólida (a 20°C) • Color : marrón en estado líquido • Olor : característico 			
	Valor	Unidad	Método
• Cambio de estado físico :			
Área de fusión :	25 - 35	°C	DIN ISO 3841
Punto de ebullición :	desconocido		
• Punto de inflamación :	> 250	°C	DIN ISO 2592 oc
• Punto de ignición :	desconocido		
• Propiedades explosivas :	desconocidas		
• Densidad : a 20 °C	ca. 0,88 – 0,93	g/cm ³	DIN 51 757
• Presión del vapor : a 20 °C	desconocido		
• Viscosidad : a 50 °C	ca. 25	mm ² /s	DIN 53 019
• Solubilidad en :			
• agua :	insoluble		

TABLA 2.1: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ACEITE DE PALMA. [31]

El aceite de palma africana es potencialmente el producto más apto para la elaboración de biodiésel a escala industrial, debido a que es la planta que mayor cantidad de aceite genera, su rendimiento es 10 veces superior al de la soja (ver *Tabla 2.2*).

Grano			Aceite				
	us\$/ton	Ton.sem/ha	rend.%	Ton/Ha	Densidad	m3/Ha.	\$/ton
Girasol	175	3.9	25	0.975	0.917	1.063	400
Soja	180	2.60	17	0.442	0.923	0.479	320
Colza	220	2.85	35	0.9975	0.908	1.099	330
Palma		11.11	45	4.9995	0.899	5.561	220

TABLA 2.2: CUADRO COMPARATIVO DE RENDIMIENTOS. [31]

Según las especies y las plantaciones, el rendimiento de aceite de palma crudo es en promedio de 3,5 toneladas por hectáreas y por año, y para la fabricación de biodiésel, 1 tonelada de aceite es equivalente a 0,9 tonelada de diesel. Esta previsto que su demanda crezca considerablemente en los próximos años.

Contiene una combinación de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. La *Tabla 2.3* muestra alguna de las características de distintos tipos de aceite.

ACEITE	GIRASOL Refinado	SOJA semidesgomado	COLZA refinado	PALMA refinado
Índice de iodo	139	132.6	104.3	53
Densidad a 25°C	0.917	0.920	0.908	0.899
Aspecto	Líquido	Líquido	Líquido	semisólido
Índice de refracción a 25°C.	1.473	1.473	1.472	(40°) 1.454
Índice de saponificación	190	193	175	200
Ácidos Grasos saturados	12.5	15.8	6.8	51
Ácidos Grasos no saturados	87.5	84.2	93.2	49
Ácidos grasos libres %	0.5	0.5	1.3	> 5
Materia insaponificable	< 1.5%	< 1.5%	< 1.5	< 0.8

TABLA 2.3: CUADRO COMPARATIVO DE ALGUNOS ACEITES VEGETALES. [31]

2.1.4 Producción y comercio mundial del aceite de palma

La producción mundial de aceite de palma en el ciclo 2007/08 se extendió en 41.73 millones de toneladas, registrando una subida del 11.6% con respecto al ciclo anterior. En la actualidad, este aceite ocupa el primer lugar tanto por el volumen producido como por la cantidad comercializada en el mundo, la *Figura 2.2*, muestra como el consumo mundial del aceite de palma en los últimos años es muy superior al de otros aceites.

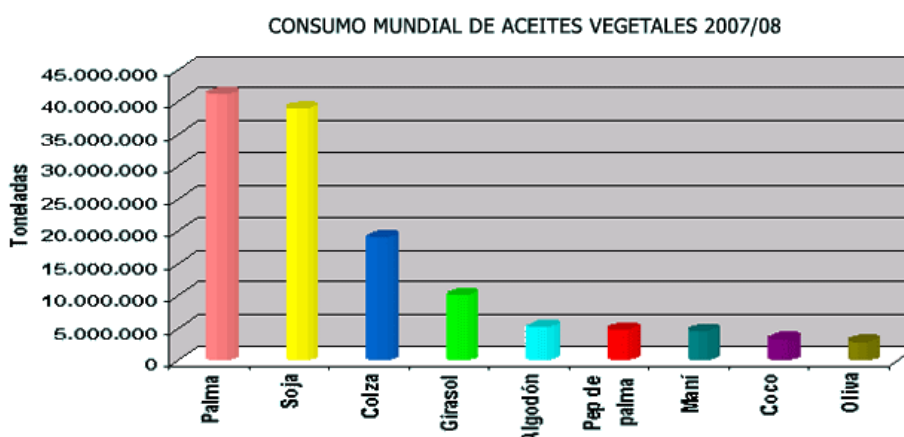


FIGURA 2.2: CONSUMO MUNDIAL DE ACEITES VEGETALES 2007/08. [31]

Los precios de la soja y el aceite de palma aumentaron un 44% desde 2007 a 2008. Pero desde ese entonces han sufrido una abrupta caída. La producción ha descendido en un 2,8% en este año.

Las exportaciones del aceite de palma en los tres primeros meses del 2009, mostraron un incremento del 3,4%, México y Europa fueron los principales destinos de las exportaciones en el trimestre.

En la siguiente figura, se muestra un mapamundi en el que se divisan las líneas de flujo comerciales del aceite de palma, así como las zonas de producción y plantación.

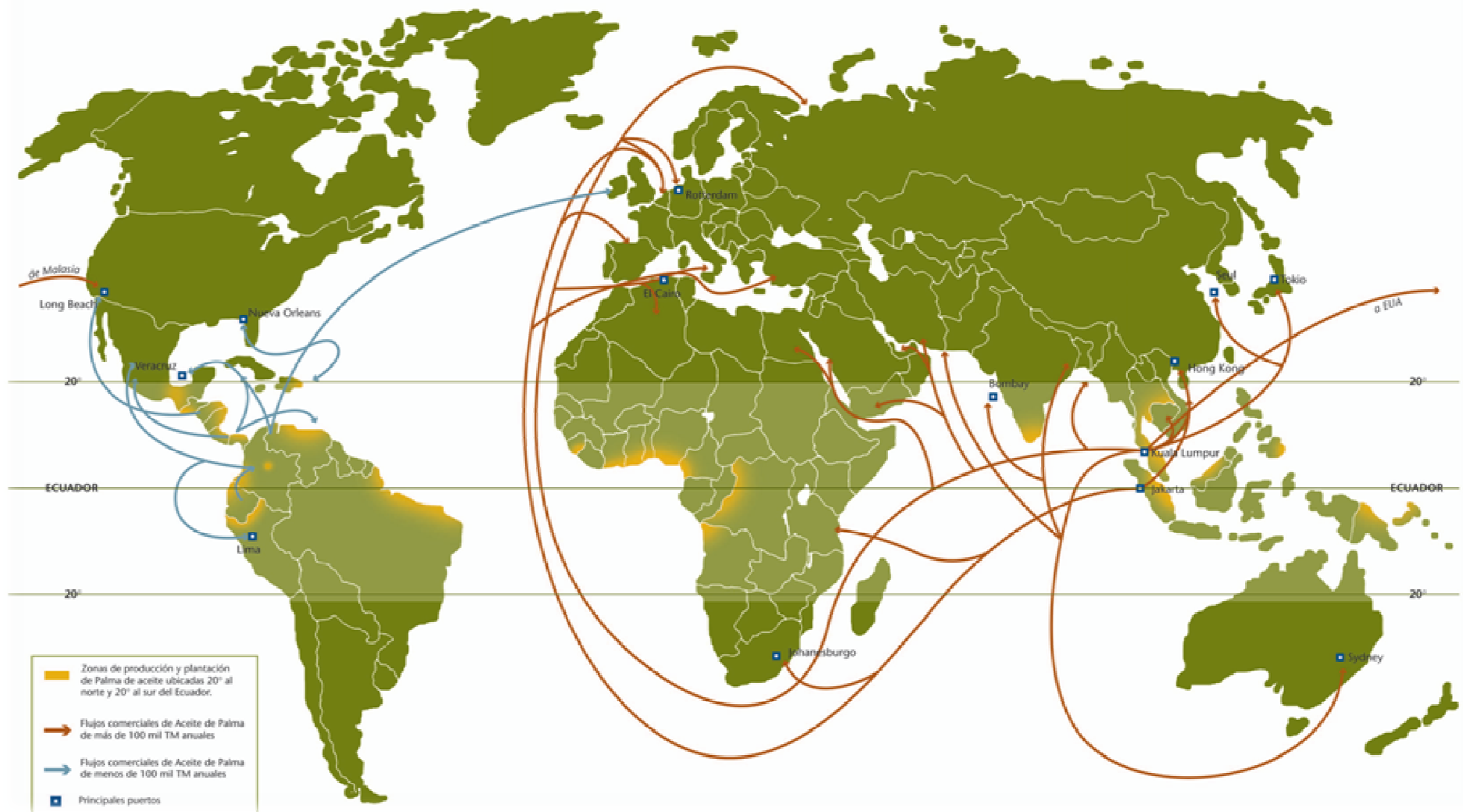


FIGURA 2.3: PRODUCCIÓN Y COMERCIO MUNDIAL DEL ACEITE DE PALMA. [32]

2.2 BIODIÉSEL

2.2.1 Introducción

El biocombustible, se tiende a definir como un combustible obtenido de manera renovable a partir de biomasa como fuente de energía para su elaboración. Biomasa es toda materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Los aceites vegetales están constituidos por ésteres de ácidos grasos y glicerol. Éste último, es el que les confiere a los aceites y las grasas su elevada viscosidad.

El biodiésel, se obtiene a partir del proceso de transterificación. La transterificación, consiste en remplazar el glicerol (alcohol trivalente) por un alcohol monovalente, usualmente metanol o etanol, formando moléculas más pequeñas (ésteres monoalquílicos, comúnmente denominado biodiésel), con una viscosidad similar a la del combustible diesel derivado del petróleo y glicerina (sustancia que tiene numerosos usos en diversas industrias).

En la *Figura 2.4* se representa un esquema básico de los procedimientos a seguir para la obtención del biodiésel. El presente proyecto se centra en la etapa de calentamiento del aceite vegetal.

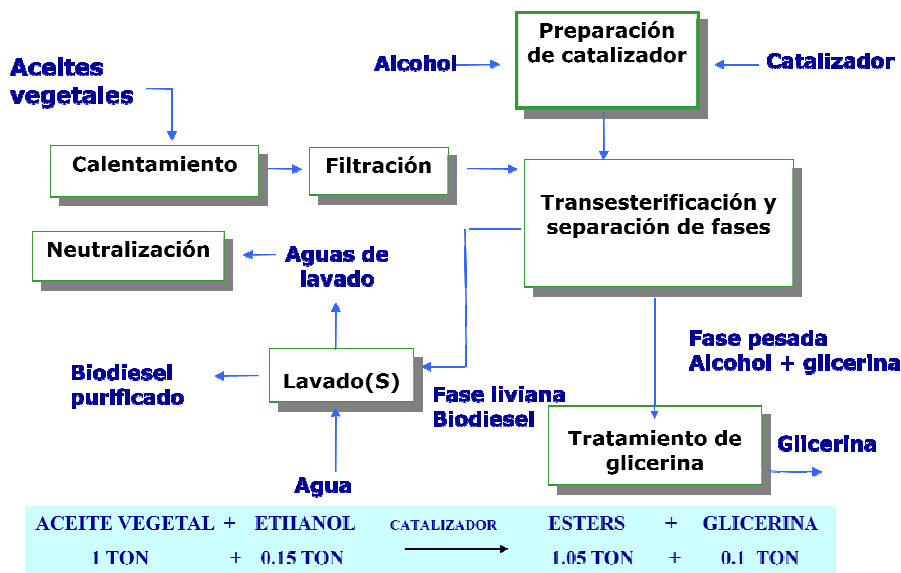


FIGURA 2.4: ESQUEMA BÁSICO DE LA PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL.

El biodiésel presenta un gran número de ventajas, algunas de ellas se citan a continuación:

- ▶ El biodiésel no es tóxico, carcinógeno o alergénico, es además biodegradable (en 21 días se degradan el 98% de sus moléculas) y no contiene azufre.
- ▶ Se reducen muchísimo las emisiones. Reduce aproximadamente en un 100% las emisiones de SO₂.
- ▶ El biodiésel posee mejores cualidades de lubricación que el diésel de petróleo, aumentando la vida útil de los motores.
- ▶ Es más seguro de manejar y transportar ya que su punto de inflamación es tres veces superior al gasóleo.
- ▶ Puede usarse directamente en cualquier motor diésel y no requiere ninguna modificación técnica.
- ▶ La producción y utilización del biodiésel permite reducir la dependencia del petróleo.
- ▶ La utilización del biodiésel beneficia el aprovechamiento de las tierras de cultivo retiradas de la producción para dedicarlas a cultivos energéticos (plantas oleaginosas como el girasol, colza, cardo,...) aumentando los niveles de ingresos y empleo en el medio rural.

Como contrapartida, se elevan las emisiones de óxido de nitrógeno y el consumo de fertilizantes. El coste de fabricación de un litro de biodiésel es, actualmente, más elevado que el de un litro de gasóleo mineral y su poder energético es menor.

Las voces más críticas consideran, además, que la utilización de la biomasa como fuente de energía, y en particular la cultivada, tendría un impacto negativo por las grandes extensiones de superficie necesarias y por la competencia que ejercerían con la producción de alimentos y otros productos necesarios, sobre todo en los países del tercer mundo que pudieran derivar sus cultivos para llenar de carburante los depósitos de los vehículos de los países industrializados.

2.2.2 Marco regulatorio

De manera cronológica el marco general y regulatorio que afecta a los biocarburantes es el que a continuación se presenta:

- ▶ *Libro Blanco de 1997*: cuyo objetivo es, alcanzar, en 2010, una penetración mínima del 12% de las fuentes de energía renovables en la Unión Europea.

- ▶ *Tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas en Kyoto, en diciembre de 1997*: la mayoría de los países industrializados asumieron el compromiso de reducir las emisiones de CO₂.
- ▶ *Plan de Fomento de Energías renovables 2000-2010*: se elabora como respuesta al compromiso señalado en la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. Se establece como objetivo energético una producción y consumo totales de 500.000 tep (tonelada equivalente de petróleo) para el 2010, lo que supondría el 1,8% de las previsiones de consumo de combustible para transporte.
- ▶ *Directiva 2003/30/CE*, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte: los estados miembros deberán tomar una serie de medidas para conseguir que en el año 2010 un 5,75% de los carburantes fósiles usados actualmente hayan sido remplazados por biocarburantes con fecha límite de 31 de diciembre del 2010.
- ▶ *Orden Ministerial ITC/2877/2008*, que establece la obligatoriedad del uso de biocarburantes en mezcla con los combustibles de automoción derivados del petróleo.
- ▶ *Arancel por 5 años impuesto por la UE al biodiésel de importación procedente de los Estados Unidos, 12/07/09*.
- ▶ *Plan de Energía Renovables en España (PER)*: constituye una revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010. Se trata de mantener el compromiso de producir con fuentes renovables al menos el 12% de la energía consumida en el 2010, así como incorporar los otros dos objetivos indicativos que son un 24,4% de generación eléctrica con renovables y 5,75% de biocarburantes en transporte para ese año, es decir multiplicar por cuatro el consumo previsto en el Plan de Fomento 2000-2010. Este plan señala que en el 2010 el consumo de biocarburantes deberá ser de 5,83% del consumo de gasolina y gasóleo para el transporte, por encima de los objetivos de la Directiva 2003/30/CE de la UE que fija un 5,75%.

	Situación en 2004	Objetivo de incremento 2005-2010	Situación objetivo en el año 2010
	Producción (tep)	Producción (tep)	Producción (tep)
Biocarburantes (transporte)			
Total biocarburantes	228.000	1.972.000	2.200.000

FIGURA 2.5: OBJETIVOS DEL PER EN ESPAÑA. [8]

Hay que tener en cuenta que de mantenerse la tendencia actual de producción y consumo de biocarburantes, en el 2010 no se alcanzaría ni el 2%, frente al objetivo de 5,83%.

En la *Figura 2.6*, se representa la evolución del consumo de biocarburantes:

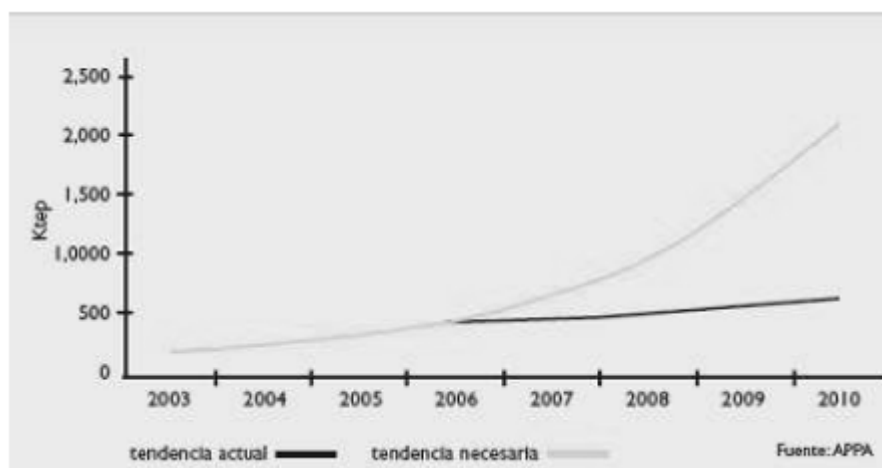


FIGURA 2.6: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLE ACTUAL Y NECESARIA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS. [8]

3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Objeto

El Presente proyecto tiene por objeto el diseño básico de un sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal, concretamente aceite de palma africana, a fin de que el producto sea líquido y adquiera la viscosidad adecuada cuando sea transferido o descargado a planta donde pasará por diferentes tratamientos para la obtención de biodiésel.

El alcance de la instalación, objeto de este proyecto, incluye una caldera (y su reserva) con sus correspondientes equipos anexos (desgasificador y unidad de tratamiento de agua), un serpentín para cada uno de los tanques a tratar, los sistemas de control necesarios así como las líneas de tuberías y los accesorios.

La fuente de energía a utilizar es gas natural (G.N.), aunque se seleccionarán los equipos necesarios para dotar al sistema de flexibilidad en el empleo de combustibles.

Todo ellos, nos permitirá obtener un aceite con las características idóneas para llevar a cabo su posterior manipulación.

3.2 Justificación

Se justifica la realización de este proyecto debido a que en todos los depósitos para grasas y aceites sólidos, semisólidos y de alta viscosidad deberán instalarse sistemas de calefacción a fin de que el producto sea líquido y adquiera la viscosidad adecuada cuando sea transferido o descargado.

En definitiva, puede ser justificado desde tres puntos de vista:

- Medioambiental:

La instalación proyectada esta diseñada de manera que pueda permitir el consumo del gas-oil de calefacción (GO C) junto con el biodiésel producido en planta, también conocido por FAME (ésteres metílicos de ácidos grasos) para futuros suministros, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos de Kyoto.

El uso del biodiésel que se producirá con los aceites tratados es beneficioso para el medio ambiente, ya que reduce las emisiones, no es tóxico y es biodegradable. Cada vez es más necesaria la reducción del consumo de energía fósil, si se quiere responder a las exigencias de un desarrollo sostenible.

Según el artículo 204 del estatuto de Andalucía. **Utilización racional de los recursos energéticos.** “Los poderes públicos de Andalucía pondrán en marcha estrategias dirigidas a evitar el cambio climático. Para ello potenciarán las energías renovables y limpias, y llevarán a cabo políticas que favorezcan la utilización sostenible de los recursos energéticos, la suficiencia energética y el ahorro.”

- Técnica:

El producto de la instalación es el vapor de agua saturado, el cuál tiene algunas evidentes ventajas respecto a otros fluidos, entre ellas destacar que es capaz de ceder una cantidad de calor mucho mayor que la que puede ceder cualquier otro fluido a una temperatura constante y bien definida, puede emplearse tanto como fluido calefactor como para producir energía mecánica además destacar que se obtiene a partir del agua, materia prima abundante, barata e inocua.

- Económica

Esta instalación supondrá un beneficio económico para la planta, debido a que sin ella, las reparaciones o compras de nuevos equipos de un uso imprescindible, como bombas, válvulas, etc..., serán mínimas en comparación si esta instalación no existiera. La viscosidad de un fluido juega un importante papel en los equipos de una instalación.

Además, el empleo del FAME como fuente de energía en el proceso de combustión producido en planta supondrá un ahorro económico.

3.3 Ubicación

Con el objetivo de construir plantas de biodiésel en la región, *GreenFuel Andalucía* (constituida en Sevilla), dispone de un emplazamiento en el Ayuntamiento de los Barrios, en la Bahía de Algeciras, donde irá ubicada la instalación diseñada en el presente Proyecto de Fin de Carrera.

La planta de fabricación de biodiésel de GreenFuel Andalucía de Los Barrios, un proyecto subvencionado por el *Ministerio de Industria* con más de 2,1 millones y que producirá 110.000 toneladas anuales, se ubicará en la terminal marítima de *Endesa Generación*. Dicho emplazamiento, cuenta con una superficie de 40.000 m², además de la infraestructura de almacenamiento de materia prima.

La capacidad de almacenamiento de esta fábrica será de 500.000 toneladas y servirá también como centro de distribución de materia prima para otras plantas de biodiésel de GreenFuel en Extremadura, Aragón y Castilla-León. Decir que con ello, se pretende rentabilizar las propias instalaciones marítimas de Endesa, cuyo principal

cometido es suministrar carbón a la Central Térmica Los Barrios y de esta forma diversificar el tráfico del Puerto Bahía de Algeciras.

La planta entrará en funcionamiento a mediados del 2010 con una inversión prevista de 29 millones de euros.

Además de la Corporación, Endesa y TSK (Electrónica y Electricidad, S.A.), participan en el proyecto INERCO (Ingeniería Energética y de Contaminación, S.A.) y el GEA (Grupo de Empresas Agrarias, S.L.) regional, los cuales aportan al mismo su experiencia en cuanto a medio ambiente y sobre todo en lo referente a la materia prima necesaria que se obtendrá de los agricultores de la zona, lo que ayudará a impulsar la implantación de cultivos energéticos.

La ubicación exacta se detalla a continuación:

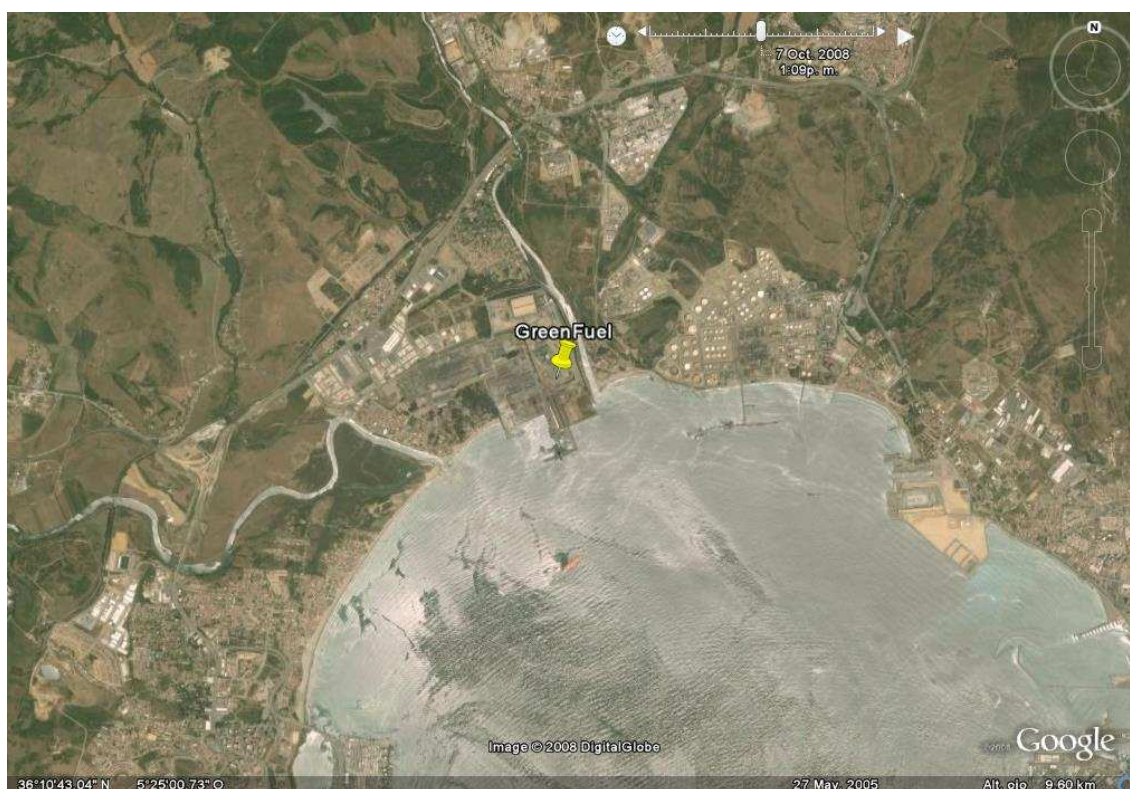


FIGURA 3.1: MAPA SATÉLITE DE LA BAHÍA DE ALGECIRAS

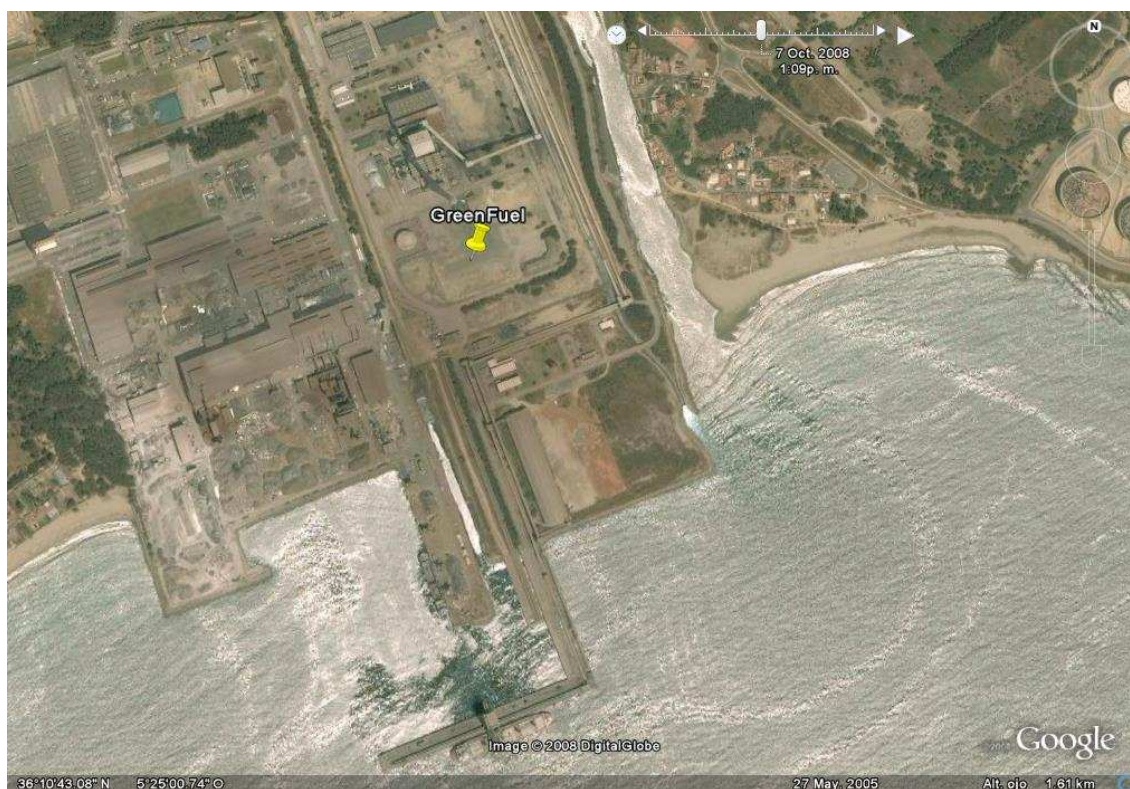


FIGURA 3.2: MAPA SATÉLITE SITUACIÓN DE LA PLANTA

4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

En el esquema de la instalación (*Figura 4.1*) se puede observar que las partes principales del sistema de generación de vapor consta de una caldera en la cual se produce la reacción de combustión para obtener vapor saturado, un desgasificador, una planta de tratamiento de aguas y los sistemas de distribución de calor y de retorno de condensado (incluyendo los serpentines de los tanques). La planta tiene previsto disponer de seis tanques de almacenamiento, cada uno de ellos de 25 metros de altura y 22 metros de diámetro.

Inicialmente, se parte de aceite vegetal de palma africana a una temperatura de 10°C, la cual habrá que aumentarla 30°C para reducir su viscosidad (la viscosidad del aceite de palma a 10°C es de 25,08 cP, reduciéndose en un 85% a 40°C, equivalentes a 3,75 cP). Para conseguir dicho aumento de temperatura, se dispone de un aporte de vapor durante un determinado periodo de tiempo, el cual se estipula considerando que la descarga de los tanques se realizará a través de un cargadero de cisternas (dotado de dos puestos) de hasta 36 m³ cada una.

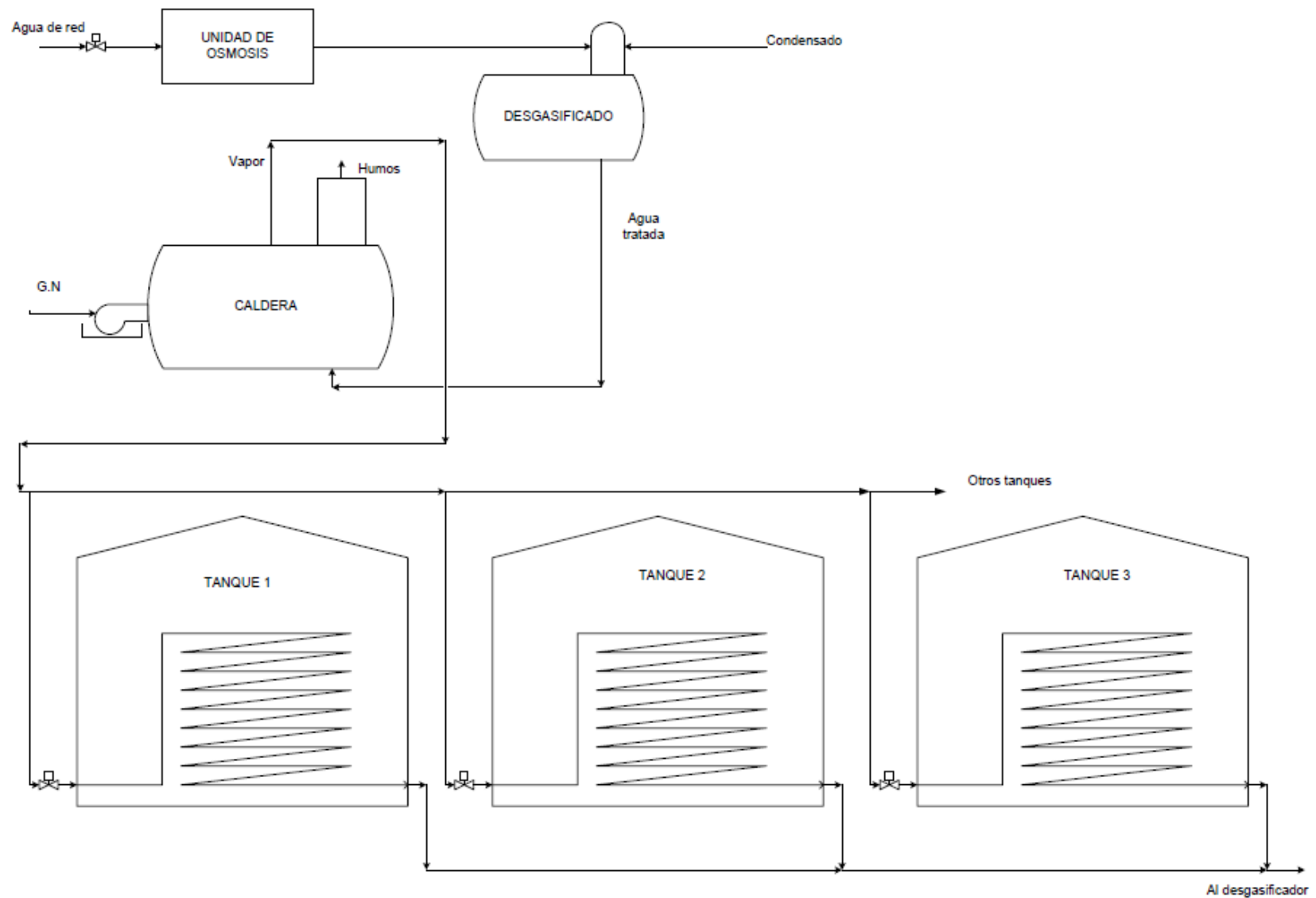


FIGURA 4.1: ESQUEMA DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL.

5 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN

5.1 Caldera

5.1.1 Introducción

El corazón de un sistema de calefacción es la caldera, es el equipo que más caracteriza a la instalación, que conjuntamente con el quemador constituye el elemento generador de energía a partir de la combustión de recursos fósiles.

Simplificando, se podría entender una caldera como un intercambiador de calor más un equipo de combustión. Las calderas tienen una tipología de tipo carcasa-tubo como otros intercambiadores de calor en el que los gases calientes producidos en la combustión ceden calor a través de la superficie de los tubos al agua de la alimentación de la caldera que se convierte en vapor.

De forma más técnica, se define una caldera como un recipiente a presión diseñado para generar vapor de agua, absorbiendo el calor liberado en la combustión de un combustible o también de gases calientes provenientes de un proceso externo o de elementos eléctricos.

En la caldera, el calor se transmite como consecuencia de una diferencia de temperatura entre dos puntos. En ésta, existe tres zonas a diferentes temperaturas: la cámara de combustión, la pared del circuito de humos y el agua. La transmisión de calor, mediante convección, conducción y radiación, desde la llama generada en el quemador hasta el agua del circuito, permitirá calentar la misma de modo que se genere la calefacción. Cierta parte de éste calor se perderá, por los humos o bien por radiación al exterior.

Una caldera se compone generalmente de los elementos que se listan a continuación:

- ▶ El cuerpo de presión, incluyendo superficies de calentamiento.
- ▶ El quemador.
- ▶ El sistema de control.
- ▶ Elementos auxiliares.

El cuerpo de presión, generalmente considerado como la caldera, constituye el elemento más voluminoso y visible de la caldera.

El quemador es uno de los componentes críticos de la caldera, especialmente desde el punto de vista de las emisiones contaminantes. En la actualidad, la caldera

forma conjunto con el quemador para que la relación sea óptima cuando se produzca la combustión. El propósito principal de un quemador es mezclar y dirigir el flujo de combustible y aire de tal manera que se asegure el encendido rápido y la combustión completa.

Siguiendo la Directiva Europea de Equipos a Presión PED 97/23/CE, los generadores serán equipados con una serie de elementos de protección: válvulas de seguridad contra sobrepresiones, control de los niveles y las alarmas mediante sondas de alta seguridad autochequeables y homologadas según normativa, presostatos, etc.

Para la selección de la caldera hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- ▶ El tipo de combustible que se va a quemar.
- ▶ La potencia calorífica que precisa la instalación.

5.1.2 Principales tipos de calderas

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada una de las cuales puede tener características propias, las calderas se pueden clasificar generalmente en dos grandes grupos; calderas pirotubulares y acuotubulares, algunas de cuyas características se indican a continuación.

Calderas Pirotubulares

En las calderas pirotubulares, los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, circulan por el interior de los tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

La combustión tiene lugar en el hogar de la caldera, en donde se produce además la transmisión de calor por radiación. Los gases resultantes, circulan a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y como consecuencia se realiza el intercambio de calor por conducción y convección. Las calderas pueden ser de varios pasos, según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Los humos son expulsados al exterior mediante la chimenea. Este tipo de calderas se utiliza mucho en la industria pero no en las centrales ya que producen vapor a baja presión y normalmente saturado.

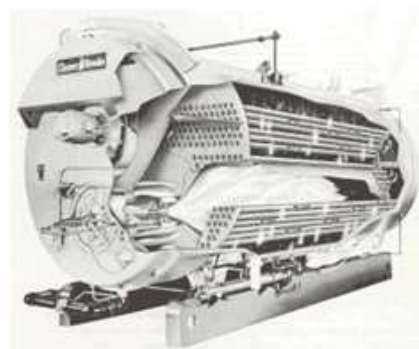
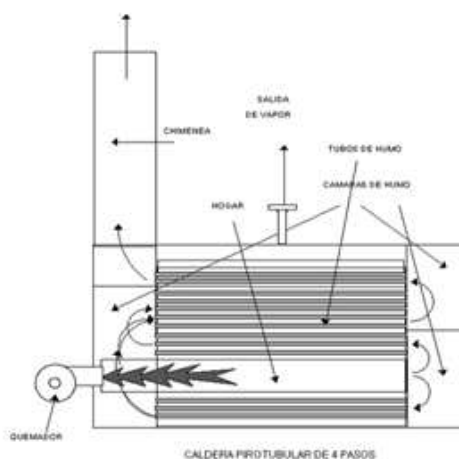


FIGURA 5.1: CALDERAS PIROTUBULARES. [15]

Calderas Acuotubulares

Como su nombre indica, al agua de alimentación circula por el interior de los tubos, al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares. Adicionalmente, pueden estar acompañadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobrecalentador, recalentador, economizador, etc.

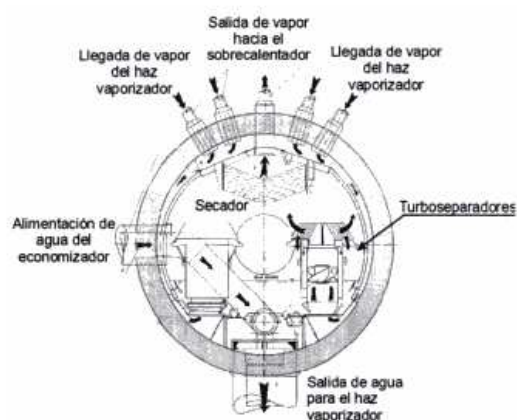
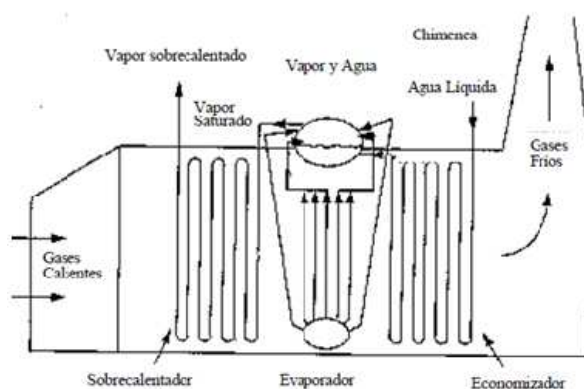


FIGURA 5.2: CALDERA ACUOTUBULAR. [15]

Estas calderas, constan de un hogar en el cual se produce la combustión, configurado por tubos y constituyendo la zona de radiación de la caldera. Los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, constituyendo la zona de convección de la caldera. Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea. Tiene la ventaja de que producen vapor sobrecalentado a elevadas presiones, lo que las hace más adecuada para el uso en centrales de vapor de gran potencia.

Como ya se ha mencionado, con objeto de obtener un mayor rendimiento en la caldera, se las suele dotar de elementos adicionales como economizadores y precalentadores, que hacen que la temperatura de los gases a su salida de la caldera, sea menor, aprovechando así mejor el calor sensible de dichos gases.

El economizador, es básicamente un intercambiador de calor gases-agua. Consigue aprovechar el calor residual de los gases de combustión, traspasándolo al agua de alimentación de la caldera, con lo que se consigue reducir el consumo de combustible y mejorar el rendimiento de manera considerable. Consta de dos circuitos, un circuito de agua y un circuito de gases.

Calderas de Vaporización Instantánea

Existe una variedad de las anteriores calderas, cuya representación esquemática podría ser la de un tubo calentado por una llama, en el que el agua entra por un extremo y sale en forma de vapor por el otro. En un periodo corto de tiempo, dado que el volumen posible de agua es relativamente pequeño en relación a la cantidad de calor que se inyecta, la caldera esta preparada para dar vapor en las condiciones requeridas, de ahí su denominación. En estas calderas hay que tener especial cuidado en el aporte de calor, ya que prácticamente, el caudal de agua inyectada es igual al caudal de vapor producido, por lo que un desajuste en el calor aportado y el caudal de agua, daría lugar a la obtención de agua caliente o vapor sobrecalentado.

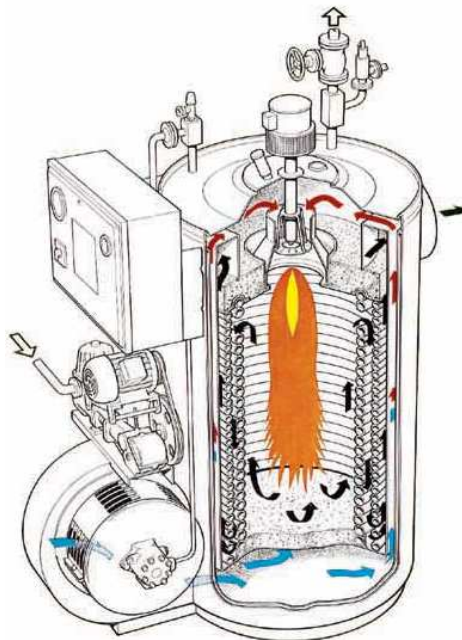


FIGURA 5.3: CALDERA DE VAPORIZACIÓN INSTANTÁNEA.

5.1.3 Criterios de selección y diseño de calderas

A la hora de seleccionar un tipo de caldera, es necesario tener en cuenta una serie de criterios como los que se citan a continuación:

- ▶ *Necesidades de aplicación del usuario.* Se debe considerar en qué tipo de procesos y qué temperaturas se requieren para el funcionamiento de la caldera.
- ▶ *Fluido de circulación.* Se debe evaluar qué fluido se requiere o es más conveniente manejar (agua o aceite) de acuerdo con las condiciones de operación.
- ▶ *Potencia requerida.* Evaluar las especificaciones promedio y máximas que se deben manejar en el proceso.
- ▶ *Combustible a utilizar.* Al escoger el combustible se debe tener en cuenta aspectos como el costo de adquisición, las garantías de suministro, impactos ambientales (emisiones atmosféricas, residuos sólidos) y la necesidad de tratamientos adicionales.
- ▶ *Requerimientos de códigos y normas.* Existe un número de códigos y normas, leyes y regulaciones que abordan a las calderas y el equipo asociado que deben ser considerados cuando se diseña un sistema. La industria de la caldera está estrictamente regulada por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME: American Society of Mechanical Engineers).
- ▶ *Costo de la inversión.* Se debe considerar la capacidad y expectativa de la Empresa en lo que se refiere a la capacidad de inversión y el nivel de ocupación del equipo para estimar la recuperación de la inversión.
- ▶ *Costos de funcionamiento.* Considerar la capacidad de la empresa para asumir entre otros, los siguientes rubros: suministro del combustible y operación de equipos auxiliares, posibilidades para utilizar el equipo en otros procesos y el costo asociado por la operación de equipos adicionales para manejo de combustibles y/o control de emisiones.
- ▶ *Impacto ambiental.* Impactos a nivel de emisiones atmosféricas, ruido ambiental, vertimientos y residuos sólidos de la operación del equipo.

5.1.3.1 Cálculo del caudal de vapor requerido

Es de vital importancia para su determinación, calcular las pérdidas de calor producidas en los tanques de almacenamiento, así como en la conducción de vapor.

Las mayores pérdidas de calor en el tanque se producirán cuando este se encuentre lleno, dándose las siguientes:

- ▶ Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido (q_1)
- ▶ Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el aire (q_2)

- Pérdidas por convección desde la superficie del techo (q_3)
- Pérdidas por conducción fondo-terreno (q_4)

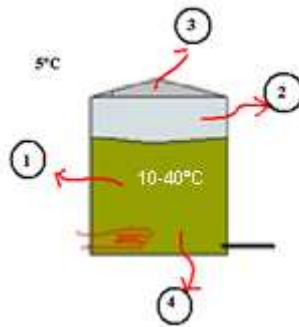


FIGURA 5.4: PÉRDIDAS DE CALOR EN EL TANQUE.

La transferencia de calor total por conducción y convección combinadas, con frecuencia se expresa en términos de un coeficiente de transferencia de calor total U , definido por la relación:

$$q = U \cdot A \cdot (T_i - T_{\infty})$$

La rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared y el fluido, el área de la superficie y el coeficiente global de transmisión de calor cuyas unidades se expresan en $\text{kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Para calcular cada una de estas pérdidas se realizan las siguientes aproximaciones:

- Se considera despreciable la resistencia a la conducción en la chapa del tanque frente a las otras resistencias que en cada caso está en serie con ella. No obstante, el tanque está aislado, por lo que si se tomará en cuenta la resistencia que opone el aislante.
- Se considera despreciable el calor gastado en calentar el aire que entra en el tanque durante el vaciado por compensar presiones, frente al consumo de calentamiento, debido a elevación de temperatura y pérdidas, en vaciado y calentamiento.
- Se considera temperatura homogénea en cada instante.
- No se consideran las pérdidas en el proceso de llenado, se podría incluir un coeficiente de seguridad para la curva de enfriamiento.
- Se considera un valor medio al número de Grashof durante el calentamiento, vaciado y enfriamiento, ya que las propiedades del aire varían muy poco en el rango de temperatura de trabajo.

En el *Anexo I* se detallan los cálculos de las pérdidas de calor, tanto en el tanque como en la tubería. La siguiente tabla (*Tabla 5.1*) muestra los resultados obtenidos.

CALOR PERDIDO, q	VALOR (kcal/h)
1	27.622,38
2	284,04
3	5.283,72
4	49.341,23
Tuberías	23.548,25
TOTAL	106.079,56

TABLA 5.1: PÉRDIDAS DE CALOR EN EL SISTEMA DE VAPOR

El vapor requerido debe compensar las pérdidas de calor en el sistema de calefacción, así como proporcionar el calor suficiente para calentar el aceite de palma a la temperatura deseada.

Realizando un balance de energía al tanque durante la etapa de vaciado y la etapa de calentamiento, se determina el caudal de vapor necesario para compensar las pérdidas en el mismo y calentar el aceite. Por definición la ecuación general del balance de energía viene dada por:

$$\left(\begin{matrix} \text{Energía} \\ \text{acumulada} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Entrada de} \\ \text{energía} \\ \text{calorífica} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{Salida de} \\ \text{energía} \\ \text{calorífica} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Energía} \\ \text{calorífica} \\ \text{generada} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{Energía} \\ \text{calorífica} \\ \text{consumida} \end{matrix} \right)$$

Realizando las simplificaciones oportunas y desarrollando cada término, se obtiene una ecuación para cada etapa:

Ecuación de mantenimiento de temperatura o compensación de pérdidas en tanque.

$$m_{sv} \cdot \lambda_v \cdot \eta = U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot (T_i - T_{\infty}) + U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot (T_i - T_{\infty}) + U_t \cdot A_t \cdot (T_i - T_{\infty}) + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot (T_i - T_s)$$

Ecuación de calentamiento del tanque.

$$T_i(t) = \frac{A}{B} - \frac{1}{B} \exp[-Bt + \ln(A - BT_{io})]$$

siendo:

m_{sv} : caudal de vapor necesario para compensar las pérdidas en el tanque, en kilogramos hora (kg/h).

η : eficacia del proceso, igual a la unidad ya que se considera condensación total.

λ_v : calor latente de vaporización del agua en kilocalorías por kilogramos (kcal/kg).

ρ_{act} : densidad del aceite de palma, en kilogramos metros cúbicos (kg/m³).

A_{lcl} : área lateral en contacto con el líquido, en metros cuadrados (m²).

A_{lcv} : área lateral en contacto con el aire del interior del tanque, metros cuadrados (m²).

A_t : área del techo del tanque, metros cuadrados (m²).

A_f : superficie del fondo del tanque, metros cuadrados (m²).

$K_{zahorra}$: conductividad térmica de la capa de zahorra, en kilocaloría por hora metro grado centígrado (kcal/h·m°C).

$L_{zahorra}$: espesor de la capa de zahorra, en metros (m).

T_s : temperatura del terreno, en grados centígrados (°C).

T_i : temperatura del interior del tanque, en grados centígrados (°C).

T_∞ : temperatura ambiente, en grados centígrados (°C).

A y B: términos de la ecuación.

Los términos A y B son:

$$A = \frac{\dot{m}_{sc} \cdot \lambda_v \cdot \eta + \left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot T_\infty + U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot T_\infty + U_t \cdot A_t \cdot T_\infty + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot T_s \right)}{\rho_{act} \cdot C p_{act} \cdot V_T}$$

$$B = \frac{\left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} + U_t \cdot A_t + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \right)}{\rho_{act} \cdot C p_{act} \cdot V_T}$$

“A” tiene unidades de °C/h y “B” de h⁻¹. El caudal de vapor necesario para el calentamiento se representa por “ m_{sc} ” en unidades másicas (kg/h).

Para compensar las pérdidas en tuberías, el vapor requerido viene determinado por:

$$\dot{m}_{st} = \frac{q_{tub.}}{\lambda_v}$$

donde:

\dot{m}_{st} : caudal de vapor necesario para compensar pérdidas en tuberías, en kilogramos hora (kg/h).

$q_{tub.}$: pérdidas de calor en tuberías, en kilocalorías hora (kcal/h).

Los cálculos de la determinación del caudal de vapor requerido para llevar a cabo el objeto de la instalación proyectada, elevar la temperatura del aceite de palma almacenado a 40°C, se detallan en el *Anexo I*.

La *Tabla 5.2* representa los resultados obtenidos.

CAUDAL DE VAPOR REQUERIDO		VALOR (kg/h)
Calentamiento	m_{sc}	2.681,31
Mantenimiento	m_{sv}	165,06
Tubería	m_{st}	47,10
TOTAL	m_v	2.893,47

TABLA 5.2: CAUDAL DE VAPOR REQUERIDO POR EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El vapor que debe de proporcionar el sistema de calefacción es **2.893,47 kg/h**. Decir, que el dimensionamiento de la caldera se realiza para las peores condiciones que se puedan dar, asegurando de esta forma su buen funcionamiento.

5.1.3.2 Cálculo de la potencia requerida

La potencia de una caldera designa en general la potencia útil que transmite efectivamente la caldera al circuito de calefacción. Se expresa en kW o en kcal/h, a menudo es el elemento crítico en la elección de una caldera.

La determinación de la potencia de la caldera se realiza mediante la siguiente expresión:

$$W_{caldera} = m_{vt} \cdot \lambda_v$$

siendo:

m_{vt} : caudal de vapor requerido por el sistema en kilogramos hora, (kg/h).

λ_v : calor latente de vaporización del agua en kilocalorías por kilogramo, (kcal/kg).

Los cálculos de la determinación de la potencia requerida por la caldera, se detallan en el *Anexo I*, obteniéndose un valor de **1672 kW**.

5.1.3.3 Selección de la caldera

En el presente proyecto, se ha optado por seleccionar aquella caldera que se ajuste a las condiciones necesarias, se ha acudido a un fabricante de calderas, *VISSMANN* y se ha elegido de catálogo el modelo que se ajusta a los requerimientos del proceso. Como la potencia requerida es de 1672 kW, se elige el modelo que proporcione esa potencia.

La caldera por tanto será el modelo Vitomax 100-LW, es una caldera pirotubular de agua sobrecalentada para temperaturas de impulsión admisibles de hasta 120 °C, para el funcionamiento a temperatura constante, presión máxima de servicio admisible 8 bar, potencia térmica útil: de 0,65 a 2 MW (Modelo M155). En el *Anexo VII*, se encuentra la ficha técnica de la caldera.



FIGURA 5.5: CALDERA, VITOMAX 100-LW M155.

Según el fabricante, las principales ventajas de la caldera, son:

- ▶ Bajo consumo de energía, Rendimiento de la caldera: 91,5 %. Caldera con cámara de combustión con inversión y baja carga de la cámara de combustión ($1,2 \text{ MW/m}^3$); de combustión poco contaminante y con un bajo nivel de emisiones de óxidos de nitrógeno.
- ▶ No se requiere ningún caudal volumétrico mínimo del agua de calefacción (amplias cámaras de agua y grandes volúmenes de agua proporcionan un excelente efecto termosifón y una transmisión segura del calor); integración hidráulica simplificada.
- ▶ No se requiere ninguna pieza intermedia de impulsión adicional; las conexiones que el equipo requiere para una temperatura de seguridad de 110 °C se encuentran en la caldera.
- ▶ Pérdidas mínimas de carga en los pasos de humos gracias a las superficies de transmisión por convección con conductos de humos de grandes dimensiones.
- ▶ De fácil mantenimiento gracias a las desviaciones refrigeradas por agua sin mampostería refractaria y al gran registro de limpieza.
- ▶ Escasas pérdidas por radiación gracias al aislamiento térmico compuesto de dos materiales de 100 mm y a la pared delantera de la caldera refrigerada por agua.

- ▶ La cubierta transitable de la parte superior de la caldera está incluida en el volumen de suministro y facilita el montaje y el mantenimiento; además, protege el aislamiento térmico contra posibles desperfectos.

5.2 Quemadores

Un quemador es el órgano destinado a la producción de la llama, poniendo en contacto las cantidades adecuadas de aire y gas para realizar la combustión. El quemador tiene por función:

- ▶ Asegurar la mezcla adecuada de aire y combustible en proporciones convenientes y mantenerla constante.
- ▶ Regular los caudales de aire y combustible.
- ▶ Mantener la estabilidad de la llama. La llama no debe desprenderse del quemador ni propagarse a su interior.
- ▶ Dar a la llama las dimensiones apropiadas a la del recinto donde se produce la combustión.

5.2.1 Clasificación de los quemadores

Hay una gran variedad de quemadores, según sea el combustible a emplear se clasifican en:

- ▶ Quemadores para combustibles sólidos.
- ▶ Quemadores para combustibles líquidos.
- ▶ Quemadores para combustibles gaseosos.
- ▶ Quemadores mixtos.

En este apartado se describen los quemadores para combustibles líquidos y gaseosos, ya que son los combustibles tratados en el presente proyecto. Existen varios criterios de clasificación:

- 1 Por la forma en que toman el aire de combustión se distinguen dos tipos de quemadores:
 - Quemadores atmosféricos.
 - Quemadores mecánicos.

Quemadores atmosféricos

Únicamente se emplean para combustibles gaseosos. También reciben el nombre de quemadores tipo Venturi.

En este tipo de quemadores se tienen combustiones con altos índices de exceso de aire. Su margen de regulación es bastante limitado. Variaciones importantes en la presión o caudal de gas provocan una mala mezcla y una combustión incorrecta. La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo coste.

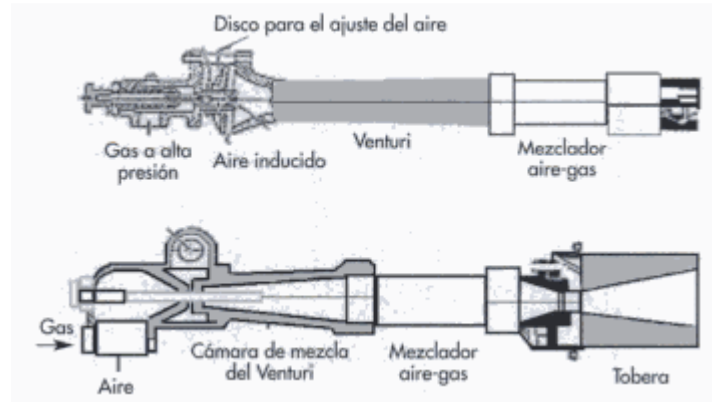


FIGURA 5.6: QUEMADORES ATMOSFÉRICOS. [28]

Quemadores mecánicos

También se denominan quemadores a sobrepresión; el aire de combustión es introducido mediante un ventilador, existen diversos sistemas para lograr la mezcla del aire con el combustible. En el caso de gas, el combustible se introduce mediante los inyectores, aprovechando la propia presión de suministro. En los combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas para su pulverización que facilitan la mezcla con el aire.

Estos quemadores se fabrican desde pequeñas hasta muy altas potencias. Es posible obtener rendimientos de combustión muy altos, ya que, la combustión puede ajustarse actuando sobre el gasto de combustible, sobre la cantidad de aire a impulsar y sobre los elementos que producen la mezcla.

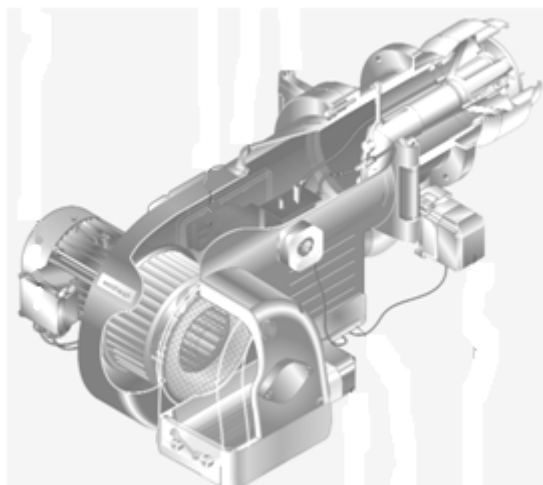


FIGURA 5.7: QUEMADOR MECÁNICO DE GAS. MARCA MONARCH-WEISHAUP, MODELO WM-G20

2 Según la forma de variación de su capacidad, se distinguen los siguientes tipos de quemadores:

- Quemadores modulantes
- Quemadores en etapas
- Quemadores prende-apaga

Quemadores modulantes

Los quemadores modulantes ajustan continuamente la relación aire-combustible, de manera que pueden trabajar con rendimientos elevados en una amplia gama de potencias; adecuándose de manera continua a las necesidades de producción.

Se utilizan cuando es necesario suministrar una potencia térmica que sea siempre variable, de acuerdo con las exigencias de la caldera.

Desde el punto de vista de la caldera y su eficiencia, es mejor tener quemadores modulantes, puesto que obtienen un mayor rendimiento del combustible quemado, reducen las tensiones producidas en el fogón por el encendido y apagado de la llama y reducen las mayores emisiones que normalmente se producen al encenderse el quemador.

La *Figura 5.8*, muestra la imagen real de un quemador mixto modulante modelo MONOBLOC C.260.

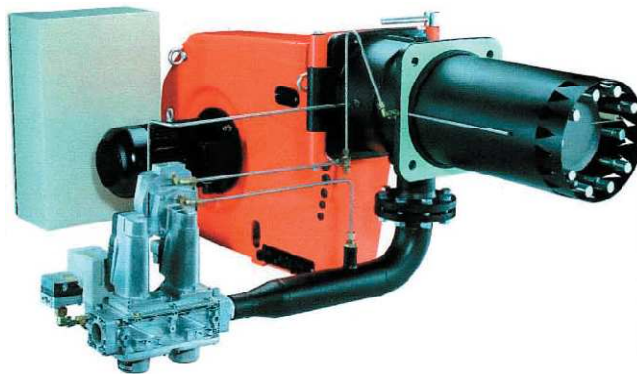


FIGURA 5.8: QUEMADOR MIXTO MONOBLOC C.260.

Quemadores en etapas o dos marchas

Estos quemadores cambian su capacidad en dos o tres etapas discretas, las que generalmente se designan como llama baja, media y alta.

Como los quemadores modulantes son más caros, los quemadores en etapas son una solución intermedia conveniente.

Quemadores prende-apaga o una marcha

Los quemadores tipo prende-apaga tienen una sola llama y se encuentran encendidos o apagados. Sólo se usan para pequeñas capacidades.

El tipo de regulación de los quemadores en función de la potencia de la caldera, será como mínimo el siguiente:

Potencia del generador de calor (kW)	Tipo de regulación del quemador
$Q_c < 100$	Una marcha (todo - nada)
$100 < Q_c < 800$	Dos marchas (todo - poco - nada)
$800 < Q_c$	Modulante

TABLA 5.3: TIPO DE REGULACIÓN DEL QUEMADOR. [12]

5.2.2 Selección del tipo de quemador

En el presente proyecto la fuente de energía a utilizar es el G.N., no obstante debido a exigencias del cliente, la instalación se encuentra preparada para futuros suministros de GO C.

El quemador debe ser adecuado para la potencia térmica útil correspondiente y para la pérdida de carga en pasos de humos (sobrepresión) de la caldera. El material de la cabeza del quemador debe poder soportar temperaturas de servicio de hasta 500 °C como mínimo.

El quemador es proporcionado por el mismo fabricante de la caldera (VISSMANN), de acuerdo a los requerimientos del proceso y de la caldera. Al igual que ocurría con esta última, se opta por aquel quemador que pueda proporcione una potencia térmica de 1672 kW.

El quemador seleccionado, quemador mixto líquido/gas, puede trabajar solo con G.N, solo con GO o con ambos combustibles a la vez. Es un quemador de dos marchas progresivas que, mediante la utilización de un regulador electrónico (Proporcional Integral Derivativo, PID), es modulante.

Está formado por:

- Tubo de combustión.
- Ventilador.
- Motor eléctrico.
- Electroválvula de entrada de combustible
- Generador de chispa para el encendido

- Sistema automático de mando
- Regleta de conexión eléctrica para la línea de alimentación, la toma de tierra y un mando exterior (termostato de ambiente, interruptor de horario, etc.)
- Elementos de seguridad que corten automáticamente la entrada de combustible y que paren el motor en casos de emergencia.
- Bomba de inyección para el combustible líquido.
- Las conexiones de aspiración y retorno de combustible
- La conexión de entrada de gas
- Un regulador de presión de gas

5.3 Unidad de tratamiento de aguas

5.3.1 Introducción

Para garantizar el buen funcionamiento y el mantenimiento de los equipos se debe asegurar el suministro de un agua de alimentación conforme con la normativa UNE 9.100, relativa a la calidad y composición del agua de aporte a caldera.

Existen industrias o servicios, que quedarían colapsados por una fallo en la caldera hasta el punto de llegar a parar su producción, y su reparación o sustitución podría representar un costo considerable en su presupuesto, por lo que es esencial que la caldera opere en óptimas condiciones.

Una caldera con un mantenimiento adecuado y con un tratamiento químico adecuado en el agua de consumo puede llegar a operar sin problemas durante veinte o más años.

5.3.2 Problemas derivados de la utilización del agua en calderas

Los problemas mas frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Problemas de incrustación
- Problemas de corrosión

La acumulación de incrustaciones reduce la transmisión de calor y con ellos eleva la temperatura de las paredes metálicas, también reduciéndose la sección de los tubos originando pérdidas de carga por rozamiento y circulación defectuosa en la caldera. Cuando la temperatura del material de éstos llega alrededor de los 500°C hay un serio peligro de recalentamiento y de explosión de la caldera.

Los gases disueltos que suelen encontrarse en el agua son el oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico y otros. La principal defensa contra la corrosión por el oxígeno, consiste en desairear por completo el agua de alimentación, mediante un desgasificador. Si quedasen trazas de oxígeno, se suelen eliminar añadiendo sulfito al agua en la aspiración de la bomba de alimentación. También es necesario, para proteger la superficie de las calderas, el mantener el pH conveniente en el interior de la caldera.

5.3.3 Osmosis Inversa

El agua de alimentación de la caldera, requiere únicamente de un proceso de desalinización, por ello se implantará en el sistema de vapor una planta de osmosis inversa.

La ósmosis inversa es uno de los varios procesos de membranas conducidos bajo presión, para la purificación del agua, entre los que también se incluyen la nanofiltración, la ultrafiltración y la microfiltración.

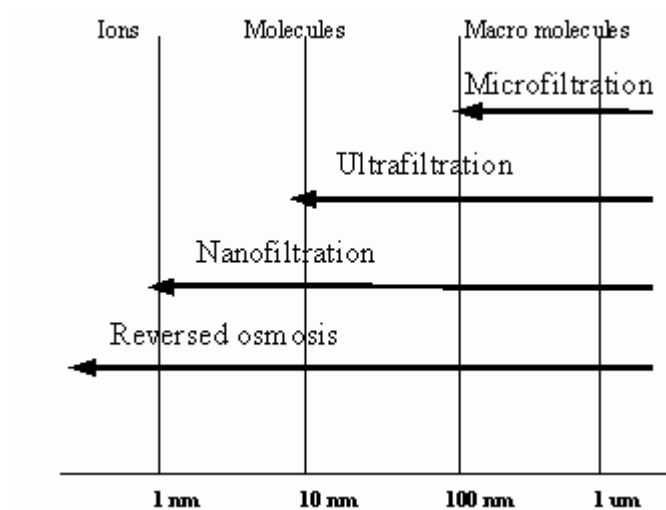
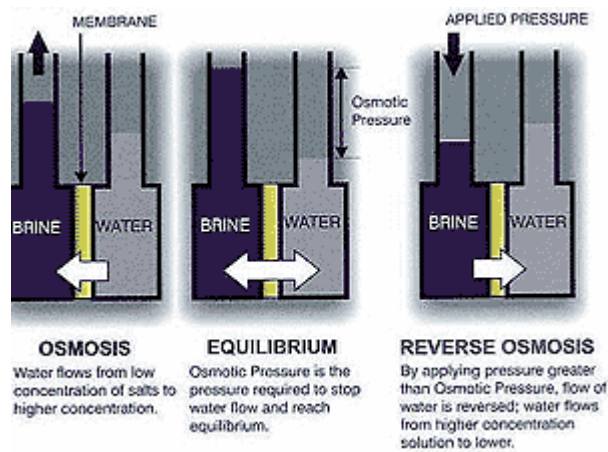


FIGURA 5.9: TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS.

Es una técnica muy útil y bien desarrollada para la purificación y desalación del agua, consiste en bombear agua a alta presión a través de membranas semipermeables que permite el paso del agua pero no de las sales, actuando así como una pares de separación selectiva.

**FIGURA 5.10 OSMOSIS INVERSA.**

La tecnología de la osmosis inversa se basa en el proceso de osmosis, que es un fenómeno natural que se produce en las células de los seres vivos, por el cual dos soluciones de distinta concentración salina puestas en contacto a través de una membrana semipermeable tienden a igualar sus concentraciones, existe un flujo natural de agua de la parte menos concentrada a la parte más concentrada que se detiene cuando se alcanza el equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y esta relacionada con la concentración de las sales en el interior de ambas soluciones.

Este proceso lo podemos invertir aplicando una presión externa mayor a la presión osmótica haciendo circular el agua de la solución más concentrada a la menos concentrada.

Como resultado se consiguen de un lado las sales y por el otro lado el agua purificada con bajo contenido en sales.

Una membrana para osmosis inversa además de ser capaz de resistir las presiones, debe de ser suficientemente permeable al agua para que el flujo que proporcione sea elevado y debe de rechazar un porcentaje de sales alto para que el producto sea de buena calidad.

Las membranas se montan dentro de tubos horizontales de diámetros normalizados llamados módulos, como se puede apreciar en la *Figura 5.11*, que mejoran su rendimiento y limpieza, minimiza la polarización, son más compactos y facilita su sustitución.

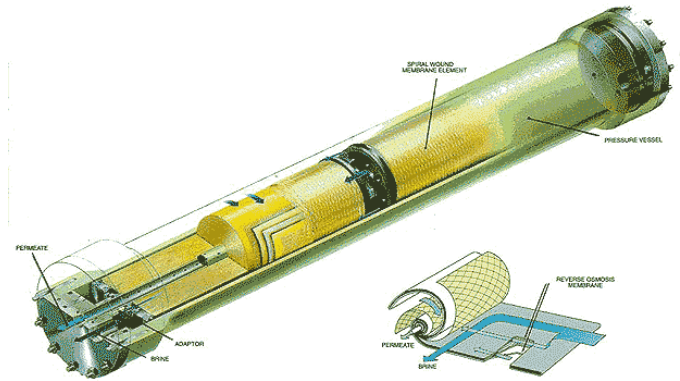


FIGURA 5.11: MEMBRANA DE OSMOSIS INVERSA.

Alguna de las ventajas que presenta la ósmosis inversa ante otros tratamientos de agua convencionales, se citan a continuación:

- Tecnología de primer nivel, "Tratamiento Limpio" ya que casi hace desaparecer el uso de químicos en la operación.
- Reduce importantes costos de operación y disposición.
- Producción de sistemas automatizados, mediciones más controladas y confiables, espacios reducidos, flujos y calidades constantes.
- Es adaptable y apropiada a todo tipo de aplicaciones: Agua Residual, para Proceso, Pura, Ultrapura, Potable, Sanitaria, Biológica, y otros usos.

5.3.3.1 Selección de la unidad de ósmosis inversa

Se ha acudido a un fabricante de tratamiento de aguas, Dinotec "Sociedad de Aguas y Medio Ambiente", el cual proporciona la unidad de ósmosis inversa con los elementos que se citan a continuación:

1. *Toma de agua al sistema.*
2. *Sistema de pretratamiento.* Son básicamente procesos de filtración y adición de compuesto compuestos químicos (coagulantes, antioxidantes, acidificador e inhibidores de incrustaciones).
3. *Bomba de alimentación de alta presión.* Esto es necesario para aplicar la presión necesaria para separar las sales como se ha descrito anteriormente. Esto incluye el tanque construido con fibra de vidrio, válvulas automáticas, bomba para membranas de inyección y sistema de limpieza.
4. *Elementos de membrana de ósmosis inversa.*
5. *Post-tratamiento o acondicionamiento del agua.* Básicamente consiste en la neutralización del PH y desinfección (UV, ozonización, etc.).

Decir, que la elección de esta unidad se ha tomado basándose en que *GreenFuel Extremadura* ya dispone de este mismo tratamiento y los resultados obtenidos han sido positivos (consiguiéndose un 98% de rechazo).

5.3.4 Desgasificador

El oxígeno, el anhídrido carbónico y otros gases se encuentran en disolución en todas las aguas naturales y actúan sobre el acero produciendo las clásicas corrosiones, causa de averías importantes. Con el fin de evitar este problema debe preverse un eficaz tratamiento para reducir los niveles oxígeno disuelto.

Se conocen como desgasificadores (desaireadores) aquellos dispositivos mecánicos empleados para liberar los gases contenidos en el agua de alimentación (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases).

La desgasificación se basa en la Ley de Henry, según la cual para cada temperatura, la cantidad de gases disueltos en un líquido es proporcional, para cada uno de estos gases, a su presión parcial en la atmósfera existente encima del líquido. También se tiene en cuenta que la solubilidad de los gases en el agua es función decreciente de la temperatura.

Los procedimientos de desgasificación pueden ser *químicos* (añadir al agua de alimentación un captador de oxígeno: hidracina, aminas o sulfito sódico) o *térmicos* con la instalación de un desgasificador que eleva la temperatura del agua por encima de los 100° C al pulverizarla junto con el vapor inyectado a presión. A esta temperatura la solubilidad de estos gases en el agua es casi nula y son arrastrados al exterior a través de un venteo.

La inyección de sustancias químicas, genera un exceso de depósitos en las superficies de metal. También es necesario manipular las sustancias químicas, lo que constituye un riesgo potencial para la salud de los empleados. A medida que se acumulan los depósitos de sustancias químicas en las superficies de la caldera, ésta debe detenerse y limpiarse en un proceso conocido como purga. A medida que aumentan las purgas, también lo hacen los costos operativos debido a que ellas generan una pérdida de agua y de calor en el sistema que se debe restablecer una vez completa la purga.

La desgasificación mediante procedimientos térmicos supone un triple ahorro frente a la desgasificación química:

- *Directo*, al disminuir el consumo de aditivos químicos.
- *De operación*, al disminuir el porcentaje de purgas en caldera.

- *Preventivo*, pues se cuida la caldera, al alimentarla con un agua precalentada, eliminando los choques térmicos.

Un desgasificador térmico consta de dos grupos. En el superior, denominado cabezal, se realiza la desgasificación y en el inferior se almacena el agua desgasificada. El agua a desgasificar (condensados y agua tratada procedente de la unidad de osmosis inversa), se introduce en el cabezal por la parte superior.

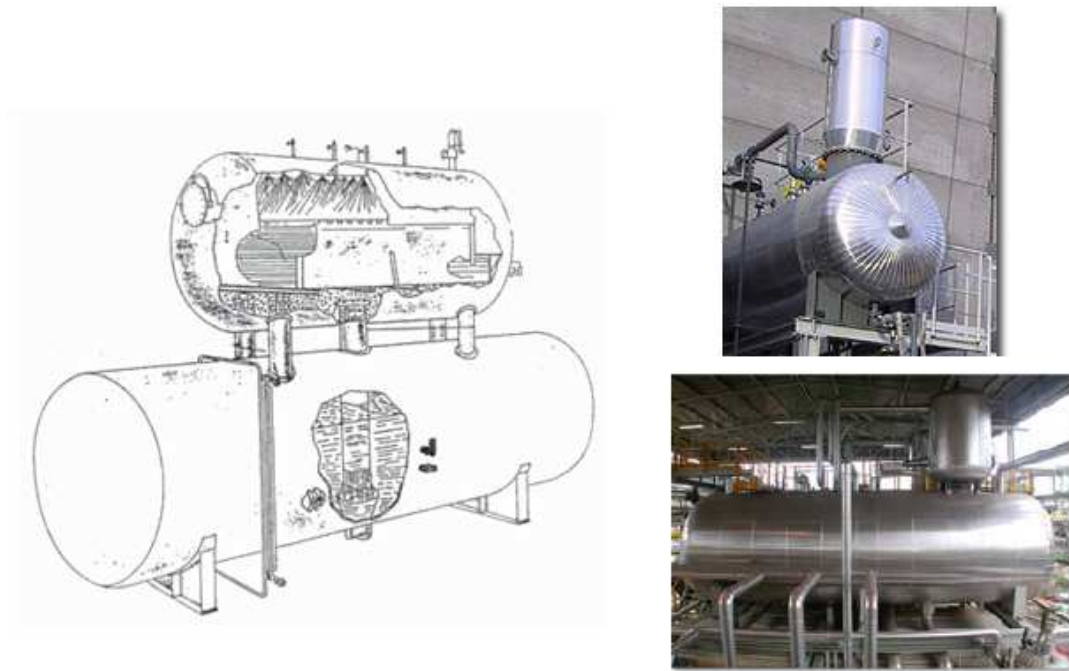


FIGURA 5.12: DESGASIFICADOR TÉRMICO. [15]

El cabezal lo hay de varios tipos:

- a) Cabezales que sólo mezclan mediante boquillas pulverizadoras (tipo atomización).
- b) Cabezales que además de mezclar, contiene una serie de bandejas perforadas (tipo columna de destilación) por las que cae el agua en finas gotas en contracorriente con el vapor producido por la caldera o con el revaporizado de los condensados, lográndose con ello su calentamiento y como consecuencia la separación del aire disuelto en el agua. Se emplean para sistemas de calderas grandes.

Finalmente en ambos casos, el agua desgasificada en su camino descendente pasa al deposito de almacenamiento.

5.3.4.1 Selección del desgasificador

Se opta por la elección de un desgasificador térmico, debido a las ventajas mencionadas en el apartado anterior con respecto al desgasificador químico.

Como consecuencia de que el sistema de vapor no requiere de una caldera excesivamente grande, se selecciona un cabezal tipo atomización, en el que se produce la desgasificación con el revaporizado de los condensados.

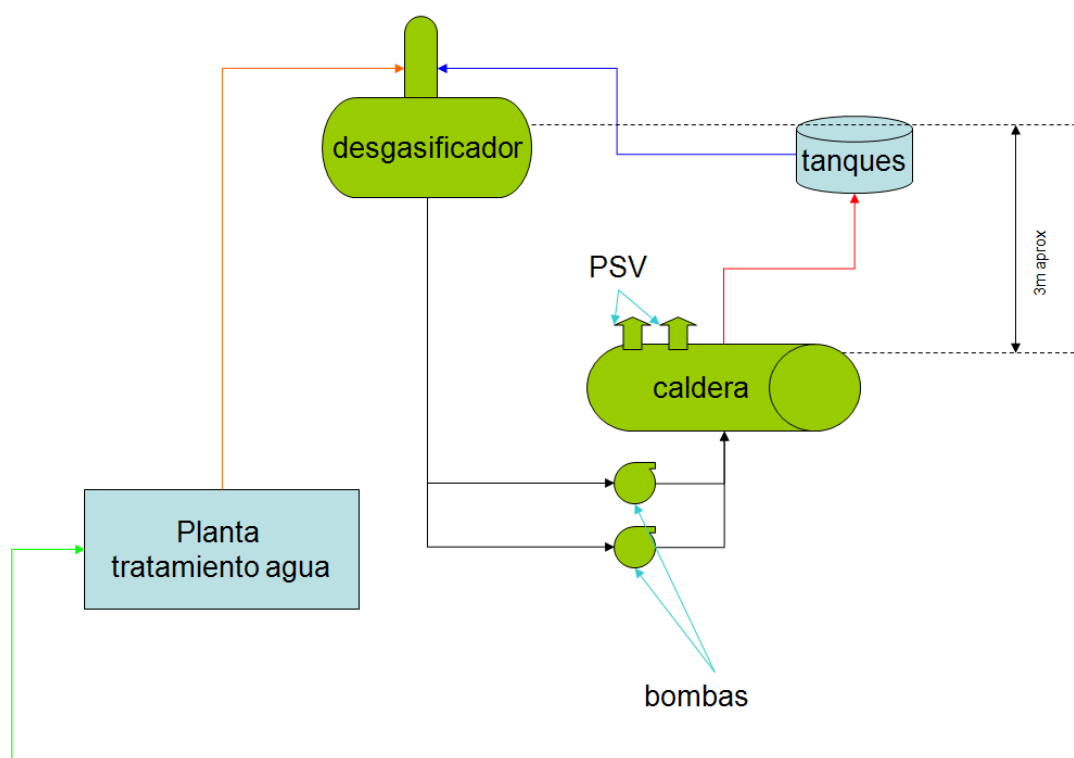
El desgasificador es suministrado por el mismo fabricante de la caldera (*VISSMANN*), junto con el quemador, dos bomba de alimentación y la instrumentación necesaria para su debido control.

5.3.5 Sistema desgasificador/bombas/caldera

La caldera genera vapor saturado a una temperatura de 150°C y una presión de 4 bares. Una vez que el vapor atraviesa el serpentín, sale en forma de condensado a una temperatura próxima a la temperatura de saturación y retorna a la caldera pasando por el desgasificador e impulsado por dos bombas (suministradas y montadas en la propia caldera).

Las bombas de alimentación son las que impulsan el agua a la salida del desgasificador hasta la presión de la caldera. El salto de presión es muy importante por lo que es preciso utilizar bombas centrífugas con varios impulsores en serie.

Debido a que la temperatura del agua tratada esta próxima a la temperatura de saturación, las bombas de alimentación tienen peligro de sufrir cavitación. Para evitar este problema, hay que asegurar una presión mínima en la aspiración de las bombas, para ello, se coloca el desgasificador en altura consiguiendo así una presión debido a la columna de líquido que se genera. Normalmente debe existir tres metros de diferencia de nivel, entre la superficie del líquido en el desgasificador y la superficie del líquido en el interior de la caldera (obsérvese la *Figura 5.13*).



Colores de línea:

- Agua bruta de la red de potable
- Agua tratada, ablandada, desmineralizada, osmotizada
- Condensado procedente de los serpentines
- Vapor
- Mezcla de agua tratada y condensado

Colores de equipos:

- Suministrados por el fabricante de la caldera. Las bombas van montadas en la propia estructura de la caldera.

FIGURA 5.13: SISTEMA DESGASIFICADOR/BOMBAS/CALDERA

6 SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

6.1 Introducción

A continuación se va a diseñar el sistema de tuberías del sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal. Dicho diseño va a consistir en seleccionar el material de construcción de las tuberías, el diámetro y el espesor de las mismas así como la caída de presión que va a experimentar el fluido a lo largo de estas. Para ello se ha seguido la norma ANSI B31.3 del código B31 (“Code for pressure piping”) patrocinado por ASME, que es el código mas extendido para el diseño de tuberías. La mayoría de las tuberías para procesos deben construirse de acuerdo con la norma B31.3.

En este punto también se van a indicar cuáles son los accesorios empleados en el sistema de vapor.

6.2 Diseño de tuberías

La instalación consta de las siguientes líneas principales de conducción de fluidos:

- Línea de vapor
- Línea de condensado
- Línea de alimentación

Debido a que por cada línea circula el fluido en distintas condiciones, el tamaño de las tuberías va a ser distinto, no obstante se ha optado por emplear el mismo material, ya que no existe ningún impedimento o problema que diga lo contrario.

Antes de comenzar con los cálculos, se deben de tener claro una serie de conceptos, necesarios para el buen desarrollo del diseño:

- *Presión de diseño (P_D)*: Esta presión debe ser mayor a la máxima de operación o servicio. En este caso la presión de diseño será la que corresponda a la caldera, que normalmente la proporciona el fabricante. No obstante si no se conoce, se opta por lo siguiente:

$$P_D \geq 1,1 \times \text{Presión máxima de operación (kg/cm}^2\text{)}$$

$$P_D \geq \text{Presión máxima de operación} + 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_D \geq 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

- *Temperatura de diseño (T_D)*: debe de ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y al igual que en el caso anterior, en éste caso será la

correspondiente a la caldera, dada por el fabricante. Es habitual adoptar como temperatura de diseño el valor de:

$$T_D = \text{Temperatura de operación} + 20^\circ\text{C}$$

- *Sobreespesor de corrosión (C)*: este valor es función del tipo de material.
- *Tensión máxima admisible (S)*: los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación la presión a la que se verán sometidos. Es decir, que la presión a la que trabaja el material será inferior a la máxima tensión admisible del mismo.

Depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo.

Cada norma o código obtiene el valor de la tensión máxima admisible de diferentes modos, aunque en general las variables que se barajan son casi siempre las mismas.

El código ASME B31.3, muestra una tabla en la que aparecen las tensiones máximas admisibles para cada material a las diferentes temperaturas, *Anexo VI*.

- *Selección de materiales*: la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual se define una secuencia lógica para la selección de éstos, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
 - Vida estimada de la instalación.
 - Requerimientos de proceso y operación.
 - Duración estimada del material.
 - Disponibilidad y tiempo de entrega del material.
 - Coste del material.
 - Coste de mantenimiento e inspección.

6.2.1 Material de construcción de las tuberías

Para la elección del material de la red de tuberías, se debe tener en cuenta el fluido que circulará por ellas y las condiciones en las que se encuentra.

El principal producto siderúrgico es el acero, siendo aproximadamente el 90% de la producción, acero al carbono y el 10%, acero aleado. Por lo tanto, el material metálico más importante para la industria es el acero al carbono.

El acero al carbono es una aleación de composición química compleja. Además de hierro, cuyo contenido puede oscilar entre 97,0 - 99,5 %, hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a los procesos de su producción (manganeso y silicio), a la dificultad de excluirlos totalmente del metal (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) o a circunstancias casuales (cromo, níquel, cobre y otros).

El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad.

Según especificaciones de ingeniería con las condiciones de diseño (temperatura y presión) que se dan en el presente proyecto y al no tratar fluidos corrosivos, el material apropiado para este caso es acero al carbono, cuya especificación según el código ASME/B31 es la A 285Gr.A.

Este tipo de acero es de bajo contenido en carbono, su composición química es la siguiente:

Carbón (C)	0,06 – 0,18 %
Manganeso (Mn)	0,27 – 0,63 %
Silicio (Si)	0,25 – máx. %
Fósforo (P)	0,048 – máx. %
Azufre (S)	0,058 – máx. %

TABLA 6.1: COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL DE LOS ACEROS DE BAJO CARBONO

Los aceros de bajo carbón son dúctiles, maleables, tenaces, resistentes a la tensión y altamente soldables.

En la *Figura 6.1* se puede observar como el acero al carbono es uno de los materiales de menor coste en la fabricación de tuberías.

10-134 TRANSPORT AND STORAGE OF FLUIDS

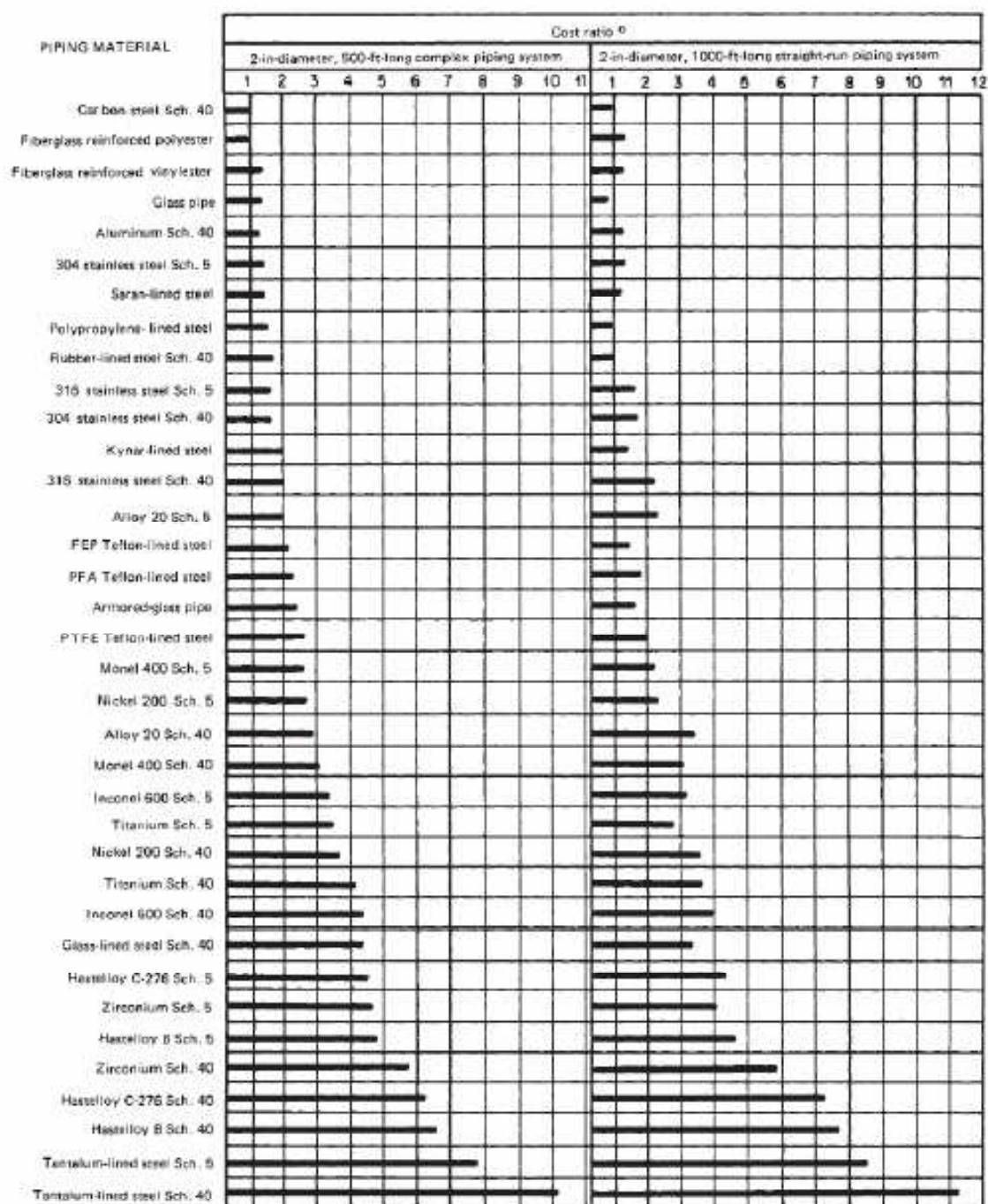


FIG. 10-176 Cost rankings and cost ratios for various piping materials. This figure is based on field-fabrication construction techniques using welding stubs, as this is the method most often employed by contractors. A considerably different ranking would result from using other construction methods, such as machined-formed lap joints, for the alloy pipe. ^aCost ratio = (cost of listed item) / (cost of Schedule 40 carbon steel piping system, field-fabricated by using welding stubs). (Extracted with permission from *Installed Cost of Corrosion-Resistant Piping*, copyright 1977, Dow Chemical Co.)

FIGURA 6.1: COSTE DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS. [10]

6.2.2 Aislamiento térmico

Las conducciones de la instalación necesitan de un aislante térmico para evitar en todo lo posible pérdidas de calor a lo largo de la trayectoria. Es necesario que se produzca el menor condensado posible en la línea de vapor, para que el cambio de estado se dé en su totalidad en el serpentín.

Los tanques de almacenamiento también se encuentran aislados para que las pérdidas de calor en las paredes del mismo sean las mínimas y de esta forma el aceite mantendrá la temperatura, objeto de calentamiento, durante un mayor periodo de tiempo. Como consecuencia, el aporte de vapor será menor y se reducen los costes en la planta.

6.2.2.1 Selección del material de aislamiento

Se ha acudido a un fabricante de aislantes de lana mineral para uso industrial, CALORCOL S.A. y se ha optado por seleccionar el aislante que más se ajusta al sistema. El material aislante empleado es lana mineral de roca.

Para las tuberías se emplean cañuelas de 2 y 1 ½ in de espesor. Las cañuelas de lana mineral de roca consisten en aislamientos térmicos normalizados para tuberías estándar de diversos diámetros nominales, se ajustan perfectamente al tubo y son fáciles de instalar

Para los tanques se emplean mantas aislantes de lana mineral de roca de 2 ½ in de espesor.

En el *Anexo VII* se adjunta la ficha técnica correspondiente.

6.2.3 Dimensiones de las tuberías. Cálculo del diámetro y espesor.

En primer lugar se comienza por determinar el diámetro de cada una de las tuberías. La sistemática seguida, es establecer dicho diámetro inicialmente en función del caudal de fluido que por ella ha de circular y de la elección de una velocidad de fluido, que se estima, generalmente en base a valores que aparecen tabulados en la bibliografía (*Tabla 6.2*).

Fluido	Velocidad m/s	Fluido	Velocidad m/s
Agua en general	1 a 3	Gases a baja presión	3 a 10
Agua caliente	2 a 3	Gases a alta presión	5 a 15
Agua para turbinas	2 a 7	Aire comprimido	3 a 10
Fluidos viscosos, aceites, alquitranes	1 a 2	Vapor saturado	10 a 25
		Vapor recalentado	30 a 60

TABLA 6.2: VELOCIDADES DEL FLUIDO EN CONDUCCIONES. [1]

La ecuación básica para el cálculo del diámetro es:

$$Q = v \cdot S = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

siendo:

D: diámetro de la tubería, en metros (m).

Q: caudal volumétrico, en metros cúbico por segundo (m³/s).

v: velocidad del fluido, en metros por segundo (m/s).

Normalmente, este valor de diámetro será un valor teórico calculado, que no coincidirá con un diámetro comercial, por lo tanto desde el punto de vista práctico será necesario elegir el diámetro comercial inmediatamente superior al valor hallado.

Pasa al cálculo del espesor se hace uso de la fórmula de Barlow, según el código ASME B31.8:

$$t = \frac{P \cdot D}{2S}$$

donde:

t: espesor mínimo de tubería, en pulgadas (in).

P: presión interna de diseño (psi).

D₀: diámetro externo de tubería, en pulgadas (in).

S: tensión máxima admisible del material a la temperatura de diseño (psi).

Dicha fórmula es adaptada por ANSI “Code for Pressure Piping”, B31 y por ASME “Boiler Construcción Code”, dando lugar a la siguiente expresión:

$$t_m = \left(\frac{P \cdot D_o}{2(SE + PY)} + C \right) \cdot M$$

siendo:

t_m : espesor mínimo de pared de una tubería, en pulgadas (in)

E: factor de eficacia de la soldadura, adimensional.

Y: coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura, adimensional.

C: sobre-espesor de corrosión, en pulgadas (in)

M: tolerancia de fabricación.

En el *Anexo III* se detalla el procedimiento de cálculo del diámetro y espesor de las tuberías. Se demuestra a continuación, la *Tabla 6.3* con los resultados obtenidos.

Línea	Diámetro nominal, D_N (in)	Schedule	Diámetro exterior, D_o (in)	Espesor, t (in)	Diámetro interior, D_i (in)	Velocidad, v (m/s)
Vapor	6	5S	6,625	0,109	6,407	14,50
Condensado	2	10S	2,375	0,109	2,157	0,37
Alimentación	2	10S	2,375	0,109	2,157	0,34

TABLA 6.3: CARACTERÍSTICAS DE CADA LÍNEA DE TUBERÍA DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES.

Una vez establecido el diámetro será necesario comprobar la aceptabilidad del mismo estudiando que la pérdida de carga que se produciría en el sistema es aceptable y que no se presentarían problemas mecánicos debido a ello.

6.2.4 Caída de presión

En el *Anexo III* se muestra el cálculo detallado de la caída de presión, el cual resulta necesario para poder determinar si se precisa de equipos de bombeo. El cálculo de la pérdida de carga se realiza para el tanque más alejado de la caldera, asegurando de esta forma que al resto de los tanques llega el vapor sin necesidad de la instalación de bombas.

Las pérdidas de carga en la línea de alimentación, no son objeto del presente proyecto, debido a que el agua de alimentación procede de la acometida de agua (de la red de suministro) y esta habilitada para proporcionar las condiciones de suministro necesarias, abasteciendo de esta forma al sistema de vapor.

Al realizar los cálculos hay que distinguir entre las pérdidas de carga continuas; debido al rozamiento del fluido con las paredes de los conductos, las pérdidas de carga singulares; debido a la resistencia de los codos, las válvulas y todos los elementos que obstaculizan el paso del líquido, y las pérdidas de carga singulares debidas a otros elementos como serpentines en los depósitos, colectores solares, etc.

Las pérdidas de energía mecánica debida a la fricción del fluido a su paso por la sección de una tubería se calculan mediante la ecuación de Darcy:

$$h_L = \left(f \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g} = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

donde:

h_L : pérdida de carga, en metros (m).

f : factor de fricción de Darcy, adimensional.

L : longitud de la tubería, en metros (m).

D : diámetro de la tubería, en metros (m).

v : velocidad del fluido, en metros por segundo (m/s).

g : aceleración de la gravedad, en metros segundo al cuadrado (m/s²).

K : coeficiente de resistencia, adimensional.

En instalaciones como la que se proyecta es muy útil la utilización del método de la longitud equivalente, para la determinación de las pérdidas de carga singulares, que consiste en sustituir el accesorio por una longitud equivalente de tubo, que produzca por rozamiento la misma pérdida.

La *Tabla 6.4*, muestra los resultados obtenidos, siendo la pérdida de carga total en cada una de las líneas de tubería, la suma de las pérdidas de carga continuas (debido al rozamiento del fluido con las paredes) y pérdidas de carga singulares (debido a los accesorios existentes en la tubería).

		PÉRDIDAS DE CARGA (kg/cm ²)		
Línea	Diámetro nominal (in)	Continuas	Singulares	Total
Vapor	6	0,055	0,019	0,074
Condensado	2	0,06	0,005	0,065

TABLA 6.4: PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS: CONTINUAS Y SINGULARES.

6.3 Accesorios

En los sistemas de tuberías es de vital importancia la incorporación de accesorios que permiten cambiar la dirección, el diámetro de las líneas, conectar diferentes ramas, etc.

A continuación se cita de modo breve y conciso los tipos de accesorios empleados en la instalación proyectada.

- ▶ *Codos de 90°*. Se emplearan codos de radio largo, con un radio de curvatura grande, debido a que en estos el flujo es menos turbulento que en el caso de codos de radio corto, reduciéndose en la medida de lo posible los fenómenos de corrosión y erosión.
- ▶ *Válvulas de compuerta, check o antirretorno, de globo, de venteo, de seguridad y de control*. Se necesitan válvulas para las siguientes funciones:
 - Impedir la circulación de fluidos para aislar equipos o tuberías para el mantenimiento, sin interrumpir a otras unidades conectadas.
 - Regular el caudal del fluido
 - Impedir el retorno de un fluido, como medida de seguridad.
- ▶ *Purgadores de condensado*. Se opta por instalar en el sistema purgadores de condensado regulables por flotador o boya al ser los más sencillos y producir una evacuación continua de condensado.

El *Anexo VII*, muestra el la ficha técnica del tipo de purgador seleccionado. Se trata de un purgador de boya cerrado de acero al carbono para descarga de condensado, suministrado por *SpiraxSarco* modelo FT44.



FIGURA 6.2: PURGADOR DE BOYA CERRADO, SPIRAXSARCO MODELO FT44

- ▶ *Conexiones en “T”*.
- ▶ *Reducciones y Ampliaciones*. En las conducciones de vapor no deben emplearse reducciones concéntricas, pues dificultan el desplazamiento del condensado

actuando como un dique, ver *Figura 6.3*. La acumulación del condensado así producida puede dar lugar a golpes de ariete. Por ello, deben emplearse reducciones excéntricas en las líneas de vapor.

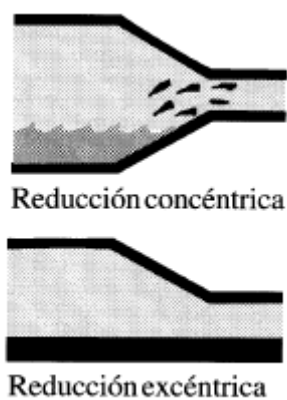


FIGURA 6.3: DESPLAZAMIENTO DEL CONDENSADO EN LAS REDUCCIONES.

7 VÁLVULA DE CONTROL

7.1 Introducción

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varia continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes, que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

- *Actuador:* el actuador de la válvula, también llamado accionador o motor, de control responde a una señal del controlador automático y mueve el elemento de control. El actuador es el amplificador de potencia entre el controlador y la circulación de líquido. Puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. Hay dos actuadores neumáticos básicos; en uno se utilizan un resorte y un diafragma, y el otro es de pistón y cilindro. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago.
- *Cuerpo de la válvula:* contiene en su interior el obturador y los asientos y está previsto de roscas o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso de fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

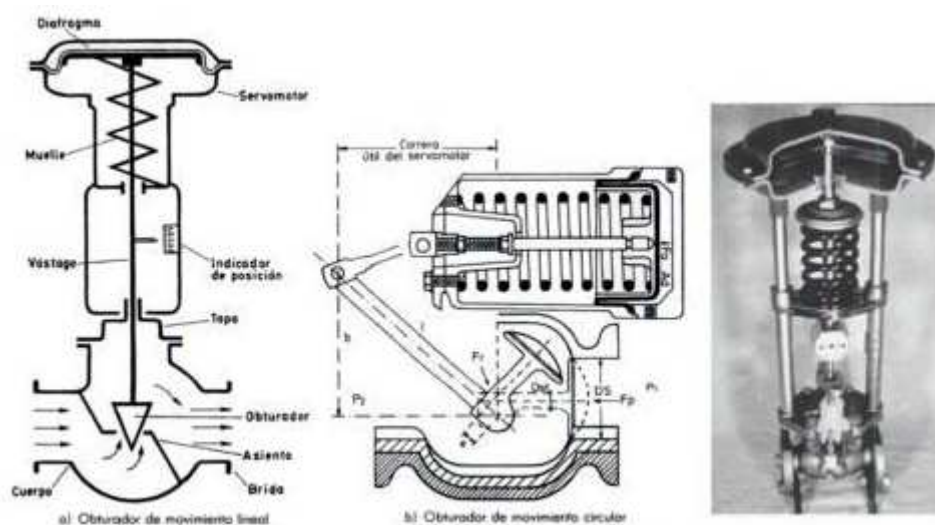


FIGURA 7.1: VÁLVULA DE CONTROL. [17]

7.2 Dimensionamiento de la válvula de control

El dimensionamiento de válvulas de control tiene como objetivo seleccionar el tamaño nominal de la válvula más adecuado para el rango de caudales que dicha válvula debe controlar.

Los tamaños nominales de las válvulas coinciden con los de las tuberías comerciales, sin embargo para cada tamaño nominal pueden existir diferentes válvulas que permiten regular diferentes intervalos de caudal, es decir con diferentes capacidades.

En el *Anexo IV* se muestra el cálculo detallado del dimensionamiento de las válvulas de control, para la determinación del coeficiente de flujo de la válvula, C_v .

El coeficiente C_v de una válvula es definido como el flujo de agua a 60 °F en gal/min a una caída de presión de 1 lb/in² a través de la válvula. Es el parámetro que informa sobre el tamaño de la válvula y mediante el cual, la válvula queda caracterizada. En Europa, es K_v y se define como el caudal de agua en metros cúbicos por hora (m³/h) que produce una pérdida de presión de un kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (kg/cm²) en la válvula.

La instalación proyectada dispone de dos válvulas de control distintas, una de ellas es la válvula que regula el caudal de vapor a la entrada del serpentín, en función de la temperatura a la que se encuentre el aceite de palma; la segunda válvula de control se encuentra en la línea de alimentación y se encarga de regular el caudal del agua de alimentación en función de la demanda de vapor. Esta última viene incluida en la unidad de osmosis inversa y por ello no se dispone a realizar su dimensionamiento.

El cálculo de C_v depende de si el fluido que circula por las tuberías es líquido o vapor. Para el caso de flujo de vapor, el coeficiente de flujo de la válvula se calcula mediante la siguiente expresión [27]:

$$K_v = \frac{W}{N_6 \cdot F_p \cdot Y \cdot \sqrt{x \cdot p_1 \cdot \rho_v}}$$

siendo:

K_v : coeficiente de flujo de la válvula, en metros cúbicos por hora (m³/h).

W : caudal másico de vapor, en kilogramos hora (kg/h).

N_6 : constante numérica sobre la base de las unidades empleadas.

F_p : factor geométrico de la tubería, se considera igual a la unidad.

Y : factor de expansión del gas, se calcula mediante la siguiente ecuación,

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_k \cdot \Delta P} = 1 - \frac{1,40}{3 \cdot k \cdot p_1}$$

x: coeficiente de caída de presión, adimensional.

$$x = \frac{\Delta P}{p_1}$$

p₁: presión ascendente, en bares (kg/cm²).

ρ_v: densidad del vapor, en kilogramos metros cúbicos (kg/m³).

F_k: factor adimensional.

$$F_k = \frac{k}{1,40}$$

k: relación entre los calor específico del gas, adimensional (c_p/c_v).

La válvula de control actuará en un rango de operación, el cuál se define como la relación entre el caudal mínimo y máximo controlables que tiene una válvula. Usualmente el caudal máximo se da para un 80% apertura del vástago, y el flujo mínimo para un 5% respectivamente.

A caudal máximo o mínimo, se define la capacidad máxima o mínima de flujo de la válvula, K_{Vmax} o K_{Vmin}. A un caudal de flujo medio, para una apertura del 50%, se define K_{Vnormal}, capacidad normal de flujo. Estas capacidades, se relacionan entre si, mediante las siguientes expresiones:

$$K_{Vmax} = 0,8 \cdot K_V$$

$$K_{Vmin} = 0,2 \cdot K_V$$

$$K_V = 2 \cdot K_{Vnormal}$$

El porcentaje de apertura se determina mediante la siguiente expresión:

$$\%Apertura = \frac{K_{Vi}}{K_{VV}} \cdot 100$$

donde K_{Vi} es la capacidad máxima, mínima o normal.

Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 7.1*.

Coeficiente de flujo	Valor (m ³ /h)	% Apertura
K_Vmáx.	78,90	80
K_Vmin.	3,45	3,5
K_Vnormal	49,31	50
K_V	98,62	100

TABLA 7.1: DIMENSIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE CONTROL, COEFICIENTE DE FLUJO CV.

Una vez determinada la capacidad requerida de la válvula, se ha acudido a un fabricante de válvulas de control, *SpiraraxSarco*, y se ha elegido el modelo recomendado por el mismo. Se trata del modelo Spira-Trol, para uso general. En el *Anexo VII* se incluye el catálogo.

Es necesario hacer una arbitraria elección de la caída de presión a través de la válvula. Según especificaciones de ingeniería y datos bibliográficos, la pérdida de carga a través de la válvula es de 0,7 kg/cm² a caudal máximo.

8 SERPENTÍN

8.1 Introducción

Se fabrican tanques con serpentines de tuberías, en una amplia variedad de configuraciones, dependiendo de las aplicaciones y de la geometría del recipiente.

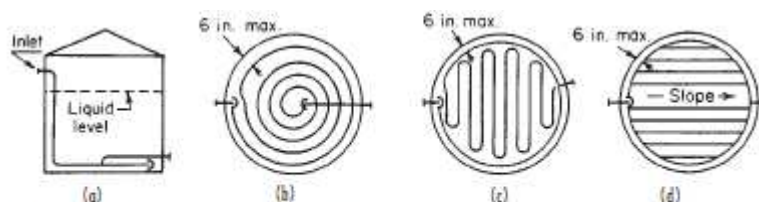


FIG. 11-29a Typical coil designs for good bottom coverage. (a) Elevated inlet on spiral coil. (b) Spiral with recirculating ring. (c) Hairpin with encircling ring. (d) Ring header type.

FIGURA 8.1: DISEÑO TÍPICO DE SERPENTINES PARA UNA BUENA COBERTURA DEL FONDO. [10]

Los más fabricados en talleres son los serpentines helicoidales y en espiral, mientras que los de tipo horquilla generalmente se fabrican en el lugar de utilización del mismo. Los serpentines helicoidales se emplean, principalmente, en tanques de proceso y recipientes a presión, en los que se precisa de grandes áreas para un rápido enfriamiento o calentamiento.

En general los serpentines de calentamiento se sitúan en la zona baja del tanque, deberían situarse sobre el fondo a una elevación de no más de 50,8 a 152 mm (2 a 6 in), para permitir el movimiento del producto dentro del recipiente.

Se debe de tener en cuenta que debe de existir una separación mínima entre la pared del tanque y el serpentín, según datos bibliográficos, esta separación será de 6 in.

La mayor parte de los serpentines están firmemente sujetos a soportes, estos deben permitir la expansión pero al mismo tiempo deben ser los suficientemente rígidos para evitar movimientos incontrolables.

8.2 Configuración del serpentín

En el presente proyecto, se opta por la elección de un serpentín de tipo horquilla, debido al tamaño de los tanques y por consiguiente al de los serpentines, estos deben de ser fabricado en el lugar de utilización del mismo.

La configuración que adopta el serpentín es la siguiente:

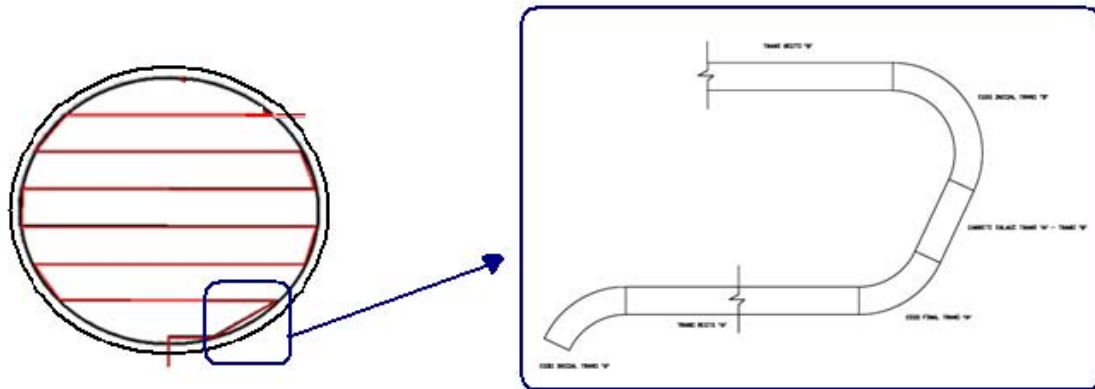


FIGURA 8.2: CONFIGURACIÓN DEL SERPENTÍN

Cada tramo del serpentín, definiendo tramo como el número de vueltas del mismo, se compone de un tramo recto, dos codos y un carrete (fragmento recto de tubo que los une).

De las posibles configuraciones existentes que se pueden diseñar, *GreenFuel Andalucía*, selecciona la configuración dada, alegando que dicha configuración es más rentable económicamente.

8.3 Dimensionamiento del serpentín

Se estudian varios casos de tamaños de serpentines para determinar cuál es el óptimo económico, en función del diámetro del mismo.

Los casos a estudiar son.

- ▶ Caso A : serpentín 1 in
- ▶ Caso B: serpentín 1½ in
- ▶ Caso C: serpentín 2 in
- ▶ Caso D: serpentín 3 in

No es recomendable emplear serpentines de diámetro mayores a tres pulgadas (in), debido a la mala transferencia de calor. A mayores diámetros, sólo transfiere calor al exterior el flujo de vapor más próximo a las paredes de la tubería, desaprovechándose gran parte de la energía calorífica generada.

En el *Anexo II* se detalla el cálculo del dimensionamiento del serpentín para los distintos casos estudiados.

En primer lugar, se realiza el diseño térmico para conocer el área de intercambio de calor necesaria para llevar el contenido del tanque a la temperatura deseada.

Seguidamente, se procede al diseño mecánico en donde se determina la longitud del mismo, el número de tramos (vueltas), el número de codos, carretes y pulgadas de soldadura.

8.3.1 Diseño Térmico

En el diseño térmico se determina el área de intercambio de calor requerida para llevar el contenido del tanque, aceite de palma africano, a la temperatura idónea de descarga.

Para el cálculo de área de intercambio se hará uso de la siguiente expresión [10]:

$$A_c = \left[D_d + U_e A_e \left(\frac{T_f + T_0}{2} - T_\infty \right) \right] \left[\frac{1}{U_s [T_v - (T_f + T_0)/2]} \right] \cdot F$$

donde:

A_c : área del serpentín, en metros cuadrados (m^2).

A_e : área equivalente, en metros cuadrados (m^2).

F : factor de diseño (seguridad), adimensional.

T_f : temperatura final del contenido del tanque, en grados centígrados ($^{\circ}C$).

T_0 : temperatura inicial de calentamiento, en grados centígrados ($^{\circ}C$).

T_v : temperatura del medio de calentamiento, del vapor, en grados centígrados ($^{\circ}C$).

U_e : coeficiente global de transmisión de calor equivalente del tanque, en kilocalorías por hora metros cuadrados grado centígrado ($kcal/h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C$).

U_s : coeficiente global de transmisión de calor del serpentín, en kilocalorías por hora metros cuadrados grado centígrado ($kcal/h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C$).

D_d : Duty de diseño, en kilocalorías hora ($kcal/h$).

En el *Anexo II* se desarrollan los cálculos. El área de intercambio de calor requerida es **112,81 m^2** .

8.3.2 Diseño Mecánico

En el diseño mecánico se determina la longitud del serpentín, el número de vueltas que ha de tener para que la distribución del serpentín sea homogénea en vista en planta, el número de codos, carretes y pulgadas de soldadura.

Para reducir las pérdidas de carga a través del mismo, se divide el serpentín (de longitud determinada y diámetro) en secciones iguales, colocando cada sección una encima de otra, a la misma distancia existente entre la primera sección del serpentín y el fondo del tanque (2 in). De esta forma se consigue reducir la pérdida de presión, reduciendo el caudal del fluido a través de cada sección del serpentín y manteniendo el área de intercambio de calor requerido en el sistema.

Se opta por mantener prácticamente el mismo número de tramos en cada sección del serpentín, para cada uno de los casos a estudiar. De ello, la elección del número de secciones en que queda dividido el serpentín.

La secuencia de cálculo tomada es la siguiente:

- 1°. Cálculo de la longitud total del serpentín (longitud teórica) necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.
- 2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.
- 3°. Determinación del número de codos y carretes.
- 4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.
- 5°. Cálculo de la longitud de los carretes.
- 6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura.
- 7°. Determinación de la longitud real del serpentín.
- 8°. Cálculo de la distancia entre tramos rectos de tubos.

A continuación se procede a explicar de forma breve cada uno de los pasos anteriores.

1°. Cálculo de la longitud total del serpentín necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.

Conocido el área de intercambio de calor necesario, obtenido en el diseño térmico, se halla la longitud del serpentín en función del diámetro del mismo mediante la siguiente expresión:

$$L_s(\text{teórica}) = \frac{A_c}{2\pi r_s} = \frac{A_c}{\pi \phi_s}$$

siendo:

L_s (teórica): longitud del serpentín necesaria, en metros (m).

r_s : radio del serpentín, en metros (m).

ϕ_s : diámetro del serpentín, en metros (m).

La *Tabla 8.1*, muestra los resultados obtenidos.

ϕ_s (in)	ϕ_s (mm)	Longitud teórica del serpentin (m)	N° Secciones iguales	Longitud teórica de una sección (m)
1	33,4	1.075,14	7	153,59
1 _{1/2}	48,3	743,47	5	148,69
2	60,3	595,52	4	148,88
3	88,9	403,93	3	134,64

TABLA 8.1: DIÁMETRO DEL SERPENTÍN & LONGITUD

2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.

El número de tramos, tal y como se indica en la *Tabla 8.2*, será:

Tramo	Distancia a tabuladura en tangente (dt)
1	a
2	a + d
3	a + 2d
N	a + (n-1)d

TABLA 8.2: CÁLCULO DEL NÚMERO DE TRAMOS

Se denomina “distancia a tabuladura tangente, (dt)” a la distancia de un tramo cualquiera del serpentín (medida en perpendicular a éste tramo desde su centro) hasta la circunferencia imaginaria tangente a los recodos que envuelve a todo el serpentín.

El valor de “a” equivale al radio de un codo largo de 90°. Se denomina “d” como “distancia entre centerline (eje longitudinal) de tubos”, esta distancia no debe de ser menor que dos veces el diámetro nominal del tubo empleado. Su valor se determina con ayuda de una hoja de cálculo mediante tanteo, hasta obtener la longitud necesaria del serpentín (o un valor mayor, longitud real).

En este punto, se supone un valor de “d” y llegados al punto 8° se tantea hasta obtener una longitud del serpentín igual o mayor a la longitud teórica.

La Tabla 8.3, muestra los resultados obtenidos.

ϕ_s (in)	N° Tramos de una sección	N° Tramos total del serpentín
1	8	56
1 _{1/2}	7	35
2	7	28
3	6	18

TABLA 8.3: NÚMERO DE TRAMOS

El número de tramos finalizará cuando el valor de la distancia a tabuladura tangente sea igual o menor al diámetro de la circunferencia imaginaria.

La longitud de cada uno de los tramos se determina mediante:

$$L_{Tr} = 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_N}{r} \right) \right)$$

siendo:

L_{Tr} : longitud de tramo recto (longitud de cada tramo de la sección), en metros (m).

r : radio de la circunferencia imaginaria, en metros (m).

dt_N : distancia a tabuladura tangente del tramo N, en metros (m).

La longitud total de tramo recto de una sección del serpentín, será la suma de cada una de las longitudes de los tramos calculados.

ϕ_s (in)	Longitud total de tramos de una sección(m)	Longitud total de tramos del serpentín (m)
1	113,18	792,26
1 _{1/2}	95,87	479,35
2	96,26	385,04
3	78,69	236,07

TABLA 8.4: LONGITUD DE TRAMO RECTO

3°. Determinación del número de codos, carretes, cordones y pulgadas de soldadura.

Cada tramo se compone de dos codos y un carrete, exceptuando el último tramo, que sale sin codo en tramo recto. Luego:

$$N^{\circ} \text{codos} = 2 \cdot N^{\circ} \text{tramos} - 2$$

$$N^{\circ}\text{carretes} = N^{\circ}\text{tramos} - 1$$

4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.

Conocido la longitud superficial equivalente de un codo de 90°, se puede determinar la longitud superficial de un codo cualquiera del serpentín, de la siguiente manera:

$$L_{\text{supf.}\theta(N)} = \frac{\theta}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^{\circ}}$$

siendo “ θ ” un ángulo cualquiera, “ α ” o “ β ”, ángulo inicial (primer codo) y ángulo final (segundo codo) de un tramo respectivamente. Ambos se calculan con las expresiones siguientes:

$$\alpha_N = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_{N+1} - L_N)^2}} \right)$$

$$\beta_N = 180 - \alpha_{N-1}$$

Siendo:

L_{N+1} : longitud del tramo recto N+1

L_N : longitud del tramo recto N

La *Tabla 8.5*, muestra los resultados finales obtenidos.

θ_s (in)	Longitud total de codos de una sección (m)	Longitud total de codos del serpentín (m)
1	3,56	24,92
1 _{1/2}	4,62	23,10
2	6,16	24,64
3	7,79	23,37

TABLA 8.5: LONGITUD SUPERFICIAL DE CODOS

5°. Cálculo de la longitud de los carretes

La longitud de los carretes se determina mediante la siguiente expresión:

$$L_{carrete, c} = \sqrt{(L_{N+1} - L_N)^2 + d^2}$$

Los resultados obtenidos, se muestran en la *Tabla 8.6*.

ϕ_s (in)	Longitud total de carretes de una sección (m)	Longitud total de carretes del serpentín (m)
1	50,20	351,40
1 _{1/2}	49,68	248,40
2	49,16	196,64
3	48,59	145,77

TABLA 8.6: LONGITUD DE CARRETES

6°. Cálculo de la longitud de los carretes

Los tubos se compran normalmente por cañas, una caña es un tramo de tubo de 12 m. Si en serpentín diseñado existen tramos de más de 12 m, al menos, hay un cordón de soldadura más en ese tramo. A esto, hay que añadir, que en cada codo existen dos cordones de soldadura. El número de pulgadas de soldadura se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{Pulgadas de soldadura} = \text{ENTERO}(\phi_s \cdot \pi \cdot (2 \cdot N^{\circ} \text{codos} + N^{\circ} \text{cordones})) + 1$$

siendo el “N° cordones” el número de cordones de más en los tramos.

Decir que el número de pulgadas de soldadura, hace referencia al número de soldaduras que se han de realizar. Se establece un precio por soldadura realizada, de ahí a que su valor sea un número entero.

La *Tabla 8.7* expone los resultados.

ϕ_s (in)	N° de codos	N° de carretes	N° de cordones	N° pulgadas de soldadura
1	14	7	8	147
1 _{1/2}	12	6	7	186
2	12	6	7	232
3	10	5	6	286

TABLA 8.7: NÚMERO DE CODOS, CARRETES, CORDONES Y PULGADAS DE SOLDADURA DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN

7°. Determinación de la longitud real del serpentín

La longitud real del serpentín será la suma de todos los tramos rectos calculados, es decir:

$$L_S(\text{real}) = N^{\circ} \text{ Secciones} \cdot \sum (L_{\text{tramos rectos}} + L_{\text{codos}} + L_{\text{carretes}})$$

Los resultados obtenidos, se visualizan en las *Tablas 8.8 y 8.9*. En las *Tablas 8.10 y 8.11* se comparan las longitudes teóricas frente a las reales.

θ_s (in)	Longitud total de tramos de una sección(m)	Longitud total de codos de una sección (m)	Longitud total de carretes de una sección (m)	Longitud real de una sección (m)
1	113,18	3,56	50,20	166,94
1 _{1/2}	95,87	4,62	49,68	150,17
2	96,26	6,16	49,16	151,58
3	78,69	7,79	48,59	135,07

TABLA 8.8: LONGITUD REAL DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN

θ_s (in)	Longitud total de tramos del serpentín (m)	Longitud total de codos del serpentín (m)	Longitud total de carretes del serpentín (m)	Longitud real del serpentín (m)
1	792,26	24,92	351,40	1.168,61
1 _{1/2}	479,35	23,10	248,40	750,87
2	385,04	24,64	196,64	606,30
3	236,07	23,37	145,77	405,20

TABLA 8.9: LONGITUD REAL DEL SERPENTÍN

θ_s (in)	Longitud teórica de una sección (m)	Longitud real de una sección (m)
1	153,59	166,94
1 _{1/2}	148,69	150,17
2	148,88	151,58
3	134,64	135,07

TABLA 8.10: LONGITUD TEÓRICA & LONGITUD REAL DE UNA SECCIÓN

ϕ_s (in)	Longitud teórica del serpentín (m)	Longitud real del serpentín (m)
1	1.075,14	1.168,61
1 _{1/2}	743,47	750,87
2	595,52	606,30
3	403,93	405,20

TABLA 8.11: LONGITUD TEÓRICA & LONGITUD REAL DEL SERPENTÍN

8°. Cálculo de la distancia entre tramos rectos de tubos

Como bien se ha dicho en el punto 2°, se supone un valor de “d” y en este último paso se tantea hasta obtener un valor de longitud real del serpentín igual o mayor al teórico.

Es necesaria para su realización una hoja de cálculo.

En la *Tabla 8.12* se observan los valores definitivos de “d”:

ϕ_s (in)	Distancia entre tramos rectos de tubos, d (m)
1	3,085
1 _{1/2}	5,596
2	3,593
3	4,304

TABLA 8.12: DISTANCIA ENTRE TRAMOS RECTOS DE TUBOS

La *Tabla 8.13* muestra los resultados generales obtenidos en el diseño mecánico.

Diámetro de serpentín (in)	Longitud de sección (m)	Nº de secciones	Nº Codos secc.	Nº Tramos secc.	Nº Pulgadas de soldadura secc.	Longitud total del serpentín (m)
1	166,94	7	14	8	147	1.168,61
1 _{1/2}	150,17	5	12	7	186	750,87
2	151,58	4	12	7	232	606,30
3	135,07	3	10	6	286	405,20

TABLA 8.13: TABLA DE RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO DEL SERPENTÍN.

En esta tabla se puede apreciar como al aumentar el diámetro del serpentín, disminuye la longitud del mismo, por tanto, disminuye el número de tramos y el número de codos y por el contrario aumenta el número de pulgadas de soldaduras.

8.4 Pérdidas de carga

La pérdida de presión se determina mediante la siguiente expresión [2]:

$$\Delta P_{\text{serpentin}} = \frac{0,6253 \cdot K \cdot W^2}{\rho \cdot d^4}$$

donde:

K: coeficiente de resistencia total, suma del coeficiente de resistencia para tubería recta y coeficiente de resistencia para curvas de 90°, adimensional.

ρ : densidad del vapor, en kilogramos metro cúbico (kg/m³).

W: caudal de flujo másico de vapor, en kilogramos por hora, (kg/h).

d: diámetro interior de serpentín, en milímetros (mm).

En la *Tabla 8.14* se muestran los resultados obtenidos.

Serpentín	Pérdida de presión (kg/cm ² (g))
Ø 1 in	10,36
Ø 1 1/2 in	1,86
Ø 2 in	0,80
Ø 3 in	0,17

TABLA 8.14: TABLA DE RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL SERPENTÍN.

8.5 Estudio económico

Este apartado tiene como objetivo la estimación del presupuesto del serpentín. Para ello se tendrá en cuenta el coste que supondrá las conducciones y accesorios del propio serpentín, además del coste de montaje y soldadura.

Al igual que en los anteriores apartados, este estudio se realiza para los cuatro posibles casos de diámetro de serpentín.

En el Anexo II se muestran los distintos precios de tubería, montaje y soldadura en función del diámetro del tubo seleccionado.

La *Tabla 8.15* muestra los resultados obtenidos.

Φ_s (in)	Coste total del Serpentin (€)
1	84.399,00
1 _{1/2}	84.938,50
2	103.553,00
3	122.911,35

TABLA 8.15: COSTE TOTAL DEL SERPENTÍN.

8.6 Selección del diámetro del serpentín

La *Tabla 8.16* muestra los datos de interés para la selección del serpentín del sistema de calefacción. En ella se observa, el coste total y la pérdida de presión de cada uno de los diámetros de serpentín estudiados hasta el momento.

Φ_s (in)	Nº Secciones	Coste total del Serpentin (€)	Pérdida de presión (kg/cm ²)
1	7	84.399,00	10,36
1 _{1/2}	5	84.938,50	1,86
2	4	103.553,00	0,80
3	3	122.911,35	0,17

TABLA 8.16: COSTE TOTAL DEL SERPENTÍN.

La selección debe realizarse en función del coste, no obstante, se ha de tener en cuenta que, el más rentable económicamente, puede producir grandes pérdidas de presión no convenientes en el sistema de calefacción. Si esto fuese así, se opta por el siguiente más económico y cuyas pérdidas no supongan una gran influencia en el sistema.

Observando los resultados obtenidos, llegamos a la conclusión de que el serpentín más rentable es el serpentín de 1 ½ in de diámetro, con un coste de *ochenta y cuatro mil novecientos treinta y ocho euros con cincuenta céntimos*, el cual produce una pérdida de presión de 1,86 kg /cm², soportables por el sistema de calefacción.

9 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO

9.1 Introducción

La Instrumentación y Control, es aquella parte de la ingeniería que es responsable de definir el nivel de automatización de cualquier planta de proceso e instalación industrial, para un buen funcionamiento del proceso, dentro de la seguridad para los equipos y personas, de acuerdo a la planificación y dentro de los costos establecidos y manteniendo la calidad.

Son aquellos dispositivos que permiten: capturar, analizar, modificar las variables de los procesos, traducir los procesos a unidades de ingeniería y controlar los mismos.

Nace de la necesidad de:

- ▶ *Optimizar los recursos humanos, materias primas y productos finales.*
- ▶ *Producir productos competitivos con un alto rendimiento.*
- ▶ *Producir productos con características repetitivas.*
- ▶ *Fomento del Ahorro Energético.*
- ▶ *Fomento de la Conservación del Medio Ambiente.*

Estos objetivos se han convertido de hecho en requisitos indispensables para mantener la competitividad, por lo que el aumento del nivel de automatización de los procesos es simplemente una necesidad para sobrevivir en el mercado actual.

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes:

- ▶ Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso.
- ▶ Se obtiene una reducción de costos, se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- ▶ Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- ▶ Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos (fabricación flexible y multifabricación).
- ▶ Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- ▶ Se obtiene un mejor conocimiento del funcionamiento de los equipos y máquinas que intervienen en el proceso.
- ▶ Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.

- ▶ Factibilidad para la implementación de funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico.
- ▶ Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- ▶ Disminución de la contaminación y daño ambiental.
- ▶ Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.
- ▶ Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

9.2 Instrumentación

La instrumentación es el conjunto de aparatos destinados a medir variables del proceso, como caudal, temperatura, presión y niveles en equipos o recipientes.

Los instrumentos que se van a instalar en la instalación proyectada son:

Instrumentos	Instalación
Temperatura	Tanques de almacenamiento de aceite vegetal
Presión	Red de vapor
Nivel	Desgasificador Caldera

TABLA 9.1: INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

A continuación se describirán brevemente cada una de estas variables a controlar, para después proponer los lazos de control pertinentes para la instalación diseñada.

9.2.1 Temperatura

La temperatura es una medida de la intensidad del calor. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin. Sin embargo, fuera del ámbito científico, es común el uso de la escala Celsius (antes llamada centígrada) y en los países anglosajones, la escala Fahrenheit. También existe la escala Rankine (°R) que establece su punto de referencia en el mismo punto de la escala Kelvin.

Existen multitud de instrumentos en la industria para medir la temperatura, entre ellos los más destacados son:

- Termómetros eléctricos.
- Termómetros de radiación (pirómetros).
- Termopares.
- Termo resistencias.

- Sensores semiconductores.

9.2.2 Presión

La presión es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

En el Sistema Internacional de Unidades, la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa ó kg/cm^2) que es equivalente a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado.

Los diferentes tipos de presión se diferencian entre sí solamente por su punto de referencia a presión cero. Si una presión está referida al cero absoluto se conoce como *presión absoluta*. La presión necesaria para la vida en la Tierra se conoce como *presión atmosférica*. La diferencia entre dos presiones se conoce como presión diferencial, la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica se conoce como *presión relativa*.

La presión se puede medir de forma directa o indirecta. Cualquier instrumento que mide directamente la presión se conoce con el nombre genérico de manómetro.

9.2.3 Nivel

El nivel, corresponde a la altura que alcanza un líquido en el interior de un recipiente.

La importancia de controlar esta variable radica en que, de no ser así, los equipos de proceso podrían llegar a desbordarse, a vaciarse completamente o bien podrían darse calentamientos excesivos que podrían ocasionar explosiones considerables.

A continuación se enumeran algunos medidores de nivel convencionales:

- Medidores locales de nivel con cristales de reflexión.
- Medidas de nivel utilizando desplazador.
- Medidor de desplazador con tubo de torsión.
- Medidas de nivel por presión diferencial.
- Medidores hidrostáticos de nivel en tanques.
- Interruptores de nivel.

9.3 Control

9.3.1 Fundamento de control

El objetivo del control en un proceso es mantener las variables del proceso en el punto de consigna (“Set Point”, SP) deseado, empleando aparatos para tal fin.

Se define el punto de consigna, SP, como la variable de entrada en el controlador que fija el valor deseado de la variable controlada. Puede fijarse manual automáticamente, o bien programarse.

Un lazo de control se compone de los siguientes elementos:

- *Medidor*, es el instrumento que mide la variable que se quiere controlar.
- *Transmisor*, capta la variable de proceso a través del elemento primario (medidor) y la convierte a una señal de transmisión estándar (señal eléctrica).
- *Controlador*, instrumento o función de software que compara la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.
- *Convertidor*, transforma una señal en otra, como por ejemplo una señal eléctrica en una neumática.
- *Válvula o actuador*, es el elemento final de control, recibe la presión y se abre y cierra en función de ese valor de presión.

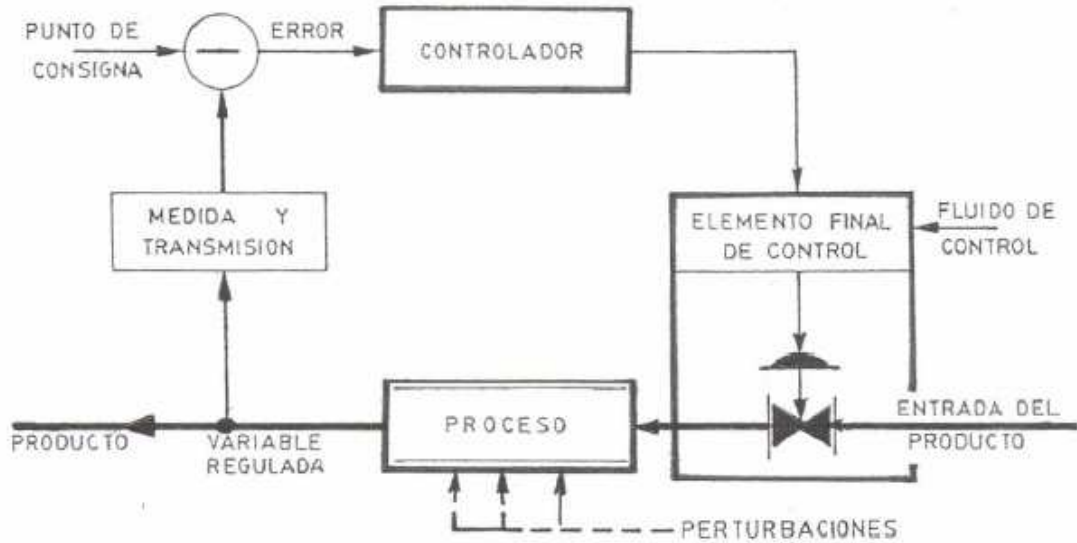


FIGURA 9.1: LAZO DE CONTROL.

9.3.2 Identificación y simbología en instrumentación

En instrumentación y control, se emplea un sistema especial de símbolos con el objeto de transmitir de una forma más fácil y específica la información. Esto es indispensable en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control.

La “*Instrument Society of America*”(ISA) de los Estados Unidos crea y actualiza permanentemente, las normas usadas en la instrumentación empleada en todo proceso.

La información contenida en este apartado se basan en la norma ANSI/ISA-S5.1-1984(R 1992). El propósito de esta norma es establecer un medio uniforme de designación de los instrumentos y los sistemas de la instrumentación usados para la medición y control. Con este fin, se realizan los diagramas de instrumentación conocidos también como P&ID (diagrama de instrumentación y tuberías).

Identificación funcional de los instrumentos

La identificación funcional de un instrumento o su equivalente funcional consiste en letras tomadas de la *Tabla 9.2*, que incluye una primera letra (designando la medición o variable inicial) y una o más letras sucesivas (designan las funciones ejecutadas).

La identificación funcional de un instrumento esta de acuerdo a la función y de no acuerdo a su construcción. Así un indicador de presión y un interruptor actuado por

presión conectado a la salida de un transmisor neumático de nivel se identifica como **LI** y **LS** respectivamente.

En un instrumento que este en lazos, la primera letra de la identificación funcional se selecciona acorde con la medición o variable inicial y no de acuerdo a la variable manipulada. Así una válvula de control que varía el flujo de acuerdo a los niveles a controlar es **LV** y no **FV**.

Un dispositivo de funciones múltiples se puede simbolizar en un diagrama por tantos círculos como variables medidas tenga, salidas y/o funciones. Así un controlador de temperatura con interruptor se identifica por dos círculos tangentes uno como **TIC** y otro como **TSH**. El instrumento se podría indicar como **TIC/TSH** para todos los casos de escritura y referencias.

Cada instrumento dentro del lazo tiene asignado el número correspondiente al lazo, este es único. Un instrumento común a varios lazos llevaría la identificación del lazo predominante.

IDENTIFICACION DE INSTRUMENTOS					
LETRA	SIGNIFICADO SEGUN SU POSICION				
	PRIMERA LETRA		LETRAS SUCESIVAS		
	MEDIDA O VARIABLE	CARACTER MODIFICADOR (2)	FUNCION PASIVA	FUNCION ACTIVA	CARACTER MODIFICADOR
A	ANALISIS		ALARMA		
B	COMBUSTION		(1)	(1)	(1)
C	CONDUCTIVIDAD			CONTROL	
D	DENSIDAD	DIFERENCIAL			
E	VOLTAJE		ELEM. PRIMARIO		
F	CAUDAL	RELACION			
G	(1)		VISOR		
H	MANUAL				ALTO
I	AMPERAJE		INDICADOR		
J	POTENCIA	SCANNER			
K	TIEMPO	RAMPA		ESTAC. CONTROL	
L	NIVEL		PILOTO		BAJO
M	(1)	IMPULSO			INTERMEDIO
N	(1)		(1)	(1)	(1)
O	(1)		ORIFICIO		
P	PRESION		PUNTO PRUEBA		
Q	CANTIDAD	TOTALIZACION			
R	RADIACION		REGISTRO		
S	VELOCIDAD	SEGURIDAD		CONMUTADOR	
T	TEMPERATURA			TRANSMISOR	
U	MULTIVARIABLE		MULTIFUNCION	MULTIFUNCION	MULTIFUNCION
V	VIBRACION			VALVULA	
W	FUERZA/PESO		VAINA		
X(3)	NO CLASIFICADO	EJE X	NO CLASIFICADO	NO CLASIFICADO	NO CLASIFICADO
Y	ESTADO	EJE Y		CONVERTIDOR	
Z	POSICION	EJE Z		ACTUADOR	
(1) DE LIBRE POSICION (2) COMO PRIMERA LETRA PODRA EMPLEARSE UNA COMBINACION DE VARIABLE Y MODIFICADOR (3) XA EN BOMBAS SIGNIFICA ALARMA POR ROTURA DE SELLO.					

TABLA 9.2: IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS.

Simbología

Para designar los instrumentos usados en los procesos de control, se emplea un círculo denominado “globo”, dentro del globo debe señalarse la identificación del instrumento de control, así como el número del lazo al que pertenece dicho instrumento.



FIGURA 9.2: UBICACIÓN DE LAS LETRAS DE IDENTIFICACIÓN DENTRO DEL GLOBO.

El globo también sirve para indicar en dónde está localizado el instrumento, es decir, si el local o está en un cuadro de control. El término local, se designa para la ubicación de un instrumento que no está en un panel o consola y no está montado en una sala de control. Los instrumentos locales están comúnmente en la vecindad de un elemento primario o de un elemento final de control. La palabra “campo” se usa comúnmente como sinónimo de local.

La Figura 9.3 muestra el significado de las líneas que dividen el globo, las cuales hacen referencia a la localización del instrumento.

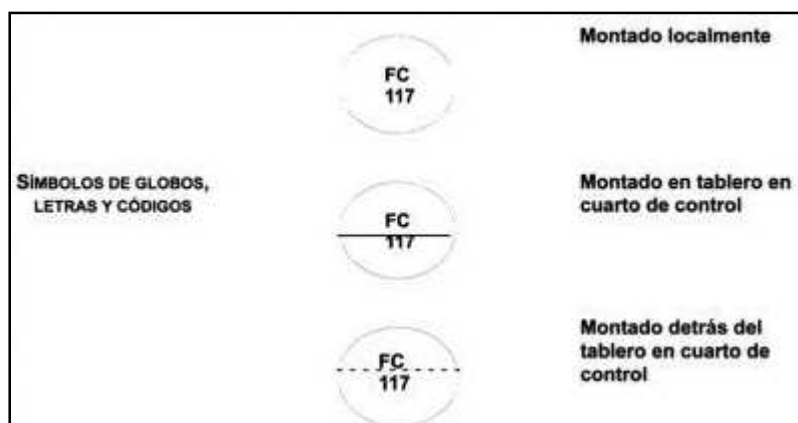


FIGURA 9.3: UBICACIÓN DEL INSTRUMENTO SEGÚN SIMBOLOGÍA. [18]

A continuación se muestra algunos símbolos especiales usados para traductores y elementos de control final.






















	LOCALIZACIÓN PRIMARIA ACCESIBLE AL OPERADOR	MONTADO EN CAMPO	LOCALIZACIÓN AUXILIAR NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR
INSTRUMENTOS DISCRETOS	1 	2 	3 
ESCALA COMPARTIDA CONTROL COMPARTIDO	4 	5 	6 
FUNCIÓN DE CÁLCULO O COMPUTADORA	7 	8 	9 
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	10 	11 	12 
	13 	14  INSTRUMENTO CON REGISTRO DE TARJETA	15  INSTRUMENTOS QUE COMPARTEN UN ALOJAMIENTO COMÚN
	16  LÁMPARA, PILOTO	17  PUNTO DE MONTAJE EN EL TABLERO	18  DISPOSITIVO DE PURGA
	19  RESET PARA ACTUADOR	20  SELLO DE DIAFRAGMA	21  LÓGICA INDEFINIDA

FIGURA 9.4: INSTRUMENTOS GENERALES Y FUNCIONES. [18]

Una línea de una señal, en general, representa la interconexión entre dos instrumentos en un diagrama de flujo siempre a través de ellos. Pueden ser conectados físicamente por más de una línea. Las líneas serán distintas en función del tipo de señal: neumáticas, eléctricas, ópticas, señales digitales, ondas de radio, etc. Algunas de la simbología empleada puede observarse en la *Figura 9.5*.

SIMBOLOS PARA LINEAS DE INSTRUMENTOS

- # # # # # # # #	SEÑAL NEUMÁTICA (INSTRUMENTOS)
-----	SEÑAL ELÉCTRICA (INSTRUMENTOS)
- L - L - L	SEÑAL HIDRÁULICA
- ~ - ~ - ~	SEÑAL SÓNICA O ELECTROMAGNÉTICA (GUIADA)
- ~ . ~ . ~ . ~	SEÑAL SÓNICA O ELECTROMAGNÉTICA (SIN GUIAR)
- . - . - . - . - .	SEÑAL SOFTWARE, ENLACE DE DATOS
- [] [] [] [] [] [] [] []	SEÑAL MECÁNICA

FIGURA 9.5: SÍMBOLOS PARA LAS LÍNEAS DE INSTRUMENTOS.

En el presente proyecto se adjunta un plano de simbología, *Plano n° 04*, en el cual se detallan además de toda la simbología vista en este apartado otras de gran utilización (simbología de válvulas, equipos, etc) empleadas en la realización del Diagrama de Procesos e Instrumentación (P&ID) y el Diagrama de Flujo.

9.3.3 Sistemas de control

Los sistemas de control tienen la misión de recibir las variables de proceso procedentes de los instrumentos, procesarlas, ejecutar órdenes y gestionar las salidas a los elementos finales de control (control o todo-nada).

Existen dos posibilidades a la hora de seleccionar el tipo de sistema de control a utilizar, por una parte están los Controladores Lógicos Programables (PLC's) unidos a un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), y por otra están los SCD's (Sistemas de Control Distribuido). Los primeros se utilizan cuando el control es principalmente "discreto" (todo-nada) o el volumen de señales es relativamente pequeño. El SCD se utiliza para grandes proyectos y control mayoritariamente analógico.

Otro punto a tener en cuenta son las comunicaciones e interfases, con otros sistemas. La mayoría de suministradores ya aceptan casi todos los protocolos de comunicaciones, todo tipo de señales de entrada/salida etc.

Los SCD, se basan en tres principales subsistemas, tal y como aparece en la *Figura 9.6* y que son:

- ▶ Interfase con el proceso (tarjetas de entrada/salida, controladores, etc.).
- ▶ Interfase con el operador (pantallas de visualización y software).
- ▶ Vías de datos o buses de interconexión (redes Ethernet, profibus, etc.).

Se puede decir que la interfase con el proceso, y mas en concreto los controladores, son el corazón de la instalación, y por el pasa toda la información.

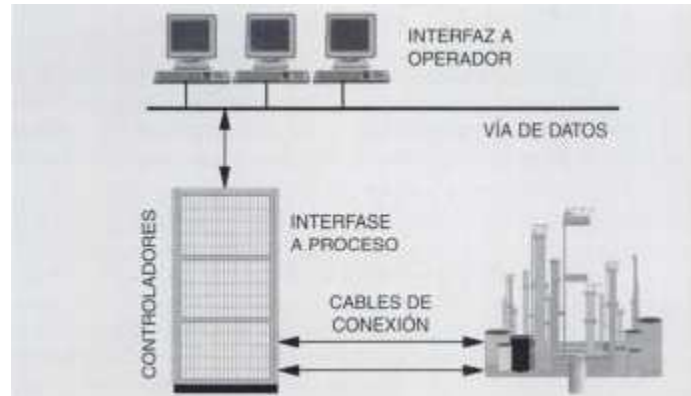


FIGURA 9.6: SUBSISTEMA DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO. [25]

9.3.4 Estrategia de control

En el sistema de calefacción objeto del presente proyecto resulta esencial controlar una serie de variables, vistas en el apartado anterior. En el *Plano n° 03* se puede observar el control y la instrumentación del sistema de calefacción. La *Figura 9.7* representa un esquema básico de los principales lazos de control.

Básicamente, la estrategia de control es la siguiente:

- 1 *Control de temperatura en tanques.* El objetivo es controlar la temperatura del fluido manipulando el caudal de vapor al serpentín. Se implementa a través de un lazo cerrado de control en el que se toma una señal de medida de temperatura que recae sobre la válvula de control existente a la entrada de cada serpentín. La señal de temperatura se lleva a controlador en panel de SCD, desde donde se introduce el SP. La válvula de control abrirá o cerrará en función de las necesidades. La lectura de la instrumentación correspondiente a los lazos de control de temperatura en cada uno de los tanques de almacenamiento del P&ID es la siguiente:
 - ▶ AS-TE/TT-0N: elemento primario de control de temperatura, transmisor. Instrumento montado en campo.
 - ▶ AS-TI-T-0N: indicador de temperatura. Instrumento montado en consola de panel central.
 - ▶ AS-TC-0N: controlador de temperatura. Función configurada en SCD accesible al operador.
 - ▶ AS-TV-0N: elemento final de control, válvula de control.

- 2 *Control de presión en toda la red.* Para garantizar la disponibilidad de vapor en las condiciones necesarias se realiza una medida de presión en el lugar más alejado de la caldera dentro de la red de vapor. La señal se llevará directamente a controlador de presión en SCD que emite una señal dirigida a los equipos de control integrados en el conjunto caldera/quemador, siendo así capaz de reponer niveles bajos de presión cuando así sea necesario. La lectura de la instrumentación correspondiente al lazo de control cerrado de presión del P&ID es la siguiente:

- ▶ AS-PE/PT-04: elemento primario de control de presión, transmisor. Instrumento montado en consola de panel central.
- ▶ AS-PC-04: controlador de presión. Función configurada en SCD accesible al operador.

- 3 *Control de nivel en desgasificador.* Se implementa a través de dos lazos cerrados de control, uno en el desgasificador y otro en la unidad de ósmosis. En el desgasificador se realizan dos medidas de nivel, una de alto nivel (LSH, Level Switch High) y otra de bajo nivel (LSL, Level Switch Low). Esta instrumentación indica marcha/paro de la bomba de la unidad de osmosis. Cuando la medida de nivel es alta, el switch de alto nivel, LSH, manda una señal de paro de la bomba de reposición de agua de la unidad de ósmosis, no obstante si la medida de nivel en el desgasificador es baja, el switch de bajo nivel, LSL, manda una señal de marcha de la bomba de la unidad.

Un switch o interruptor no es más que un dispositivo que conecta, desconecta, selecciona o transfiere uno o más circuitos y no esta designado como un controlador, como un relé o como una válvula de control.

La secuencia seguida será:

- ▶ El nivel de agua baja en el desgasificador por debajo del SP.
- ▶ El control de nivel del desgasificador pone en marcha la bomba de reposición de la unidad de osmosis.
- ▶ El nivel de agua baja en el depósito interior de la unidad de ósmosis.
- ▶ Para mantener el nivel constante en este depósito interior de la unidad de ósmosis, se abre lo necesario la válvula de control AS-LV-00.

El depósito de almacenamiento de agua tratada, integrado en la unidad de ósmosis dispone de un medidor/transmisor de nivel AS-LE/LT-00 que dirige la señal al controlador de nivel AS-LC-00 en panel SCD, el cual actúa sobre la válvula de control AS-LV-00.

- 4 *Sistema de seguridad en caldera.* Se prevé un enclavamiento por bajo y muy bajo nivel de líquido en caldera que accionará la parada general del conjunto caldera/quemador ante la posibilidad de que la primera fila de tubos quede sin sumergir en el agua tratada de generación de vapor.

Un descenso excesivo del nivel de agua en la caldera es el fallo mas grave que se puede presentar. Si este nivel no ha descendido mas allá del limite permitido y visible , bastará con alimentar rápidamente, pero si el nivel ha bajado demasiado y no es visible, en el tubo de nivel, deberá considerarse seca la caldera y proceder a cerrar el suministro de combustible, cerrar el consumo de vapor y dejarla enfriar lentamente. Antes de encenderla nuevamente, se deberá inspeccionarla en forma completa y detenida.

Se realizan dos medidas de nivel a través de dos medidores/transmisores, AS-LE/LT-01 y AS-LE/LT-02 los cuales llevan la señal a las alarmas de bajo nivel y de muy bajo nivel de líquido, AS-LAH-01 y AS-LLAH-01. De forma inmediata, mediante una secuencia programada en el sistema de control se acciona la parada general del conjunto caldera/quemado.

- 5 *Indicador de presión a la entrada del serpentín.* Para llevar un mejor control de las variables a controlar en el sistema de calefacción, se opta por integrar en el sistema un manómetro de presión a la entrada de cada uno de los serpentines de los tanques, conectado de forma que su lectura pueda realizarse en local y en panel. La instrumentación mostrada en el P&ID es la siguiente:

- ▶ AS-PTI-0N: indicador, transmisor de presión. Instrumento montado en campo.
- ▶ AS-PI-0N: indicador de presión. Instrumento montado en consola de panel central.

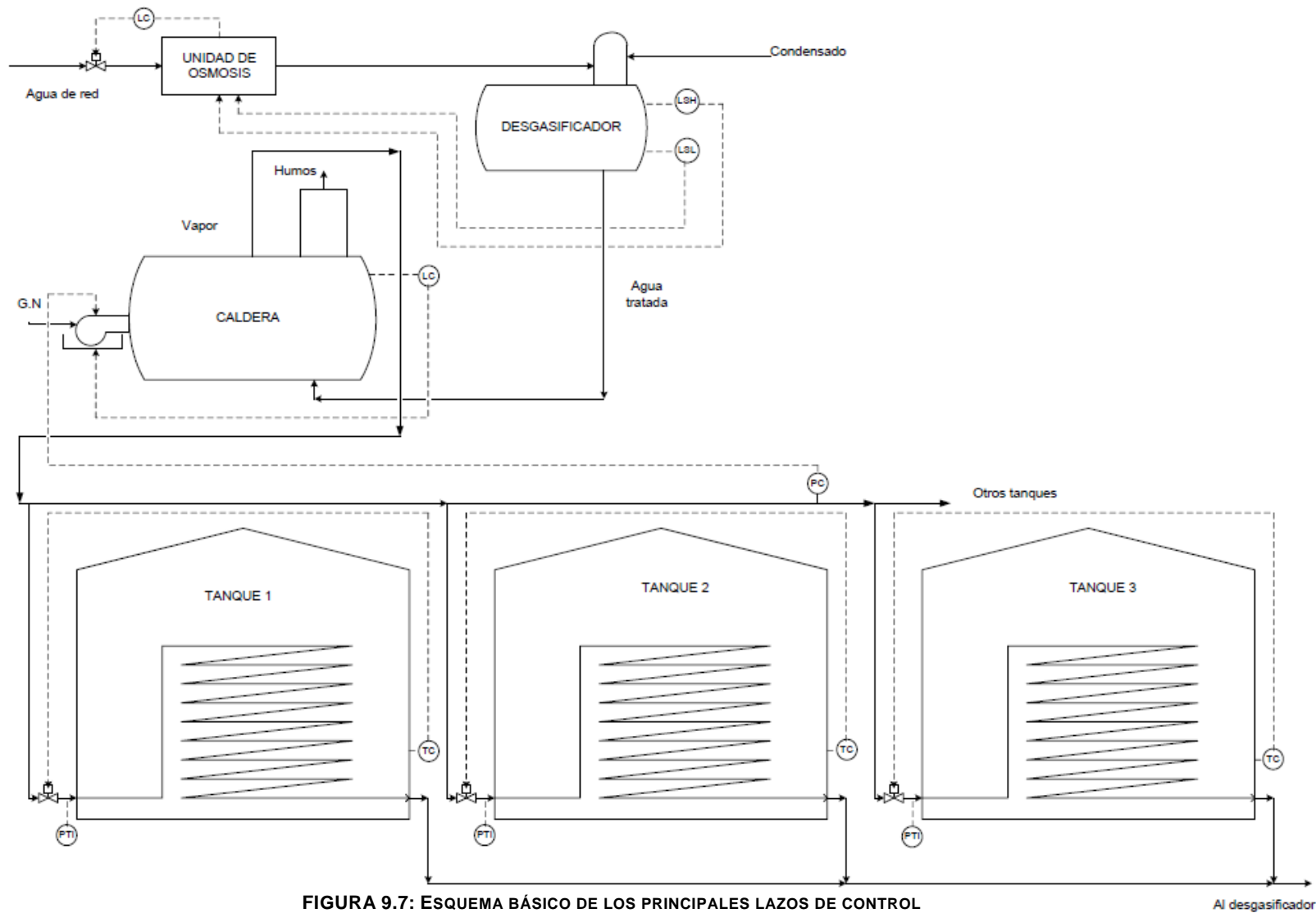


FIGURA 9.7: ESQUEMA BÁSICO DE LOS PRINCIPALES LAZOS DE CONTROL

Al desgasificador

10 SEGURIDAD E HIGIENE

10.1 Introducción

La seguridad es la ciencia que estudia las condiciones materiales que ponen en peligro la integridad física de los trabajadores. Aborda fundamentalmente los aspectos relacionados con los accidentes derivados del trabajo.

Sus niveles de actuación son:

- ▶ La prevención, evitando o minimizando los factores de riesgo y las causas.
- ▶ La protección, evitando las consecuencias y el daño hacia las personas, a pesar de que el accidente se haya podido producir, reparando las consecuencias del accidente para minimizar su importancia.

El concepto actual de salud como “equilibrio y bienestar físico, mental y social” incluye:

- ▶ La salud física o salud orgánica como resultado del correcto funcionamiento del conjunto de células, tejidos, órganos y sistemas del cuerpo humano.
- ▶ La salud psíquica que presupone un equilibrio intelectual y emocional.
- ▶ La salud social o bienestar en la vida relacional del individuo.
- ▶ Las alteraciones del ambiente generadas por el trabajo crean una serie de factores agresivos para la salud, entre los que se encuentran:
 - Factores mecánicos.
 - Agentes físicos.
 - Contaminantes químicos.
 - Factores biológicos.
 - Tensiones psicológicas y sociales.

El objeto de la realización de este estudio es analizar los riesgos existentes en el sistema de calefacción y proponer algunas medidas de seguridad.

Se entiende por análisis de riesgos el proceso de valoración del riesgo que entraña para la salud y la seguridad de los trabajadores la posibilidad de que se verifique un determinado peligro en el lugar de trabajo.

Siempre existe el riesgo de que se materialice un determinado accidente, es decir, el riesgo cero es imposible pero se debe intentar disminuir la probabilidad de que se produzca, disminuir las consecuencias de estos accidentes y, en caso de que se produzcan, estar preparados para la correcta actuación.

10.2 Legislación aplicable

► En materia de seguridad

- **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- **Real Decreto 1995/1978**, de 12 de mayo, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la seguridad social.
- **Real Decreto 1244/1979**, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.
- **Real Decreto 1942/1993**, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.
- **Real Decreto 400/1996**, de 1 de marzo. Aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- **Real Decreto 485/1997**, de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- **Real Decreto 486/1997**, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- **Real Decreto 773/1997**, de 30 de mayo. Disposiciones mínimas sobre utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- **Real Decreto 1254/1999**, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes.
- **Real Decreto 379/2001**, de 6 de abril, por el que se aprueba el Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- **Real Decreto 842/2002**, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- **Real Decreto 681/2003**, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- **Real Decreto 2267/2004**, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

► En materia de higiene del trabajo

- **Real Decreto 286/2006**, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- **Real Decreto 374/2001**, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

10.3 Análisis de riesgos y establecimiento de medidas preventivas

Después de hacer un estudio al sistema de calefacción de vapor para tanques de almacenamiento de aceite vegetal, se han identificado los siguientes riesgos:

- 1) Riesgos en maquinas.
- 2) Riesgos en la instalación.
- 3) Riesgos químicos.
- 4) Riesgos físicos.
- 5) Riesgos de explosión.

A continuación se describirán cada uno de estos riesgos y se propondrán algunas medidas de seguridad.

10.3.1 Riesgos en máquinas

Los accidentes producidos por maquinas implican una gravedad alta, derivada en lesiones de importancia o incapacidades. Las lesiones mas frecuentes que suelen originarse en este tipo de accidentes son fracturas, amputaciones, heridas, cortes y quemaduras.

La ley de Prevención de Riesgos Laborales establece en el articulo 41 que los fabricantes, importadores y suministradores de maquinaria, equipos, productos y útiles de trabajo están obligados a asegurar que estos no constituyan una fuente de peligro para el trabajador, siempre que sean instalados y utilizados en las condiciones, forma y para los fines recomendados por ellos. Así mismo, también establece la obligación del empresario de garantizar la Seguridad y Salud de los trabajadores en todos los aspectos relacionados con el trabajo.

Los riesgos derivados de la utilización de maquinas en los lugares de trabajo pueden ser debidos a las características de la propia maquina o al uso que se hace de la misma.

Las medidas que se proponen para prevenir los riesgos por la utilización de maquinaria en la instalación proyectada son los siguientes:

1. Las zonas de trabajo con maquinas estarán adecuadamente iluminadas.
2. Las zonas peligrosas, se señalizaran físicamente.
3. Para cada unidad, equipo, maquina o herramienta, se dispondrán una serie de normas de utilización segura, indicando así mismo cual es el EPI (Equipo de Protección Individual) mas conveniente. Toda esta información se recogerá en un formulario que se colocara en la unidad, equipo, maquina o herramienta, de

modo que sea accesible y visible para todo aquel que se disponga a manipular la maquina.

4. Para las operaciones de carga y descarga, limpieza, ajuste o mantenimiento de las maquinas deben pararse, señalizarse, bloquearse si fuera necesario y comprobar previamente que no existe riesgo en su manipulación.
5. Los armarios y cuadros eléctricos que alimenten maquinas y puedan originar riesgo eléctrico en los trabajadores deben disponer de las protecciones reglamentarias.
6. Las maquinas solo serán manipuladas por los operarios debidamente cualificados y autorizados para ello.
7. Periódicamente se organizaran reuniones y cursos para que los trabajadores reciban una formación mínima sobre los riesgos derivados de la utilización de maquinas y su prevención.

10.3.2 Riesgos en la instalación

Lo más conveniente es que se lleven a cabo programas de control para disminuir el riesgo de exposiciones accidentales.

En los procedimientos de arranque y parada, la planificación completa de una parada incluirá una preparación previa de la unida en cuestión, y una preparación por parte de otros departamentos cuyas operaciones se verán afectadas, tales como otras unidades próximas. Estos procedimientos se indicaran por escrito y se deberán cumplir estrictamente.

En los procesos de mantenimiento, que tienen lugar durante la parada, el sistema de tuberías conectado entre equipos, bombas, recipientes, etc., deberá quedar apantallado antes del inicio del trabajo. Las válvulas deberán cerrarse y sellarse. Los equipos eléctricos o de accionamiento eléctrico deberán tener el conmutador principal o el interruptor bien cerrado, o al menos separado antes de recibir autorización para trabajar en el equipo.

En terreno, toda persona deberá disponer de prendas protectoras (trajes, guantes, gafas, botas, casco, etc...) para evitar el contacto de la piel con líquidos, vapores calientes o con los equipos a elevadas temperaturas. En caso de ruido, se deberá hacer uso de orejeras o tapones.

Se desarrollaran programas de higiene industrial para controlar el entorno laboral y se realizaran reconocimientos médicos, planificados y periódicos, para que los requisitos de trabajo no pongan en peligro la salud y seguridad del individuo, ni sobrepasen su capacidad física.

10.3.3 Riesgos químicos

En el sistema de calefacción, se emplean algunos compuestos químicos en la unidad de osmosis inversa, para el tratamiento del agua de alimentación de la caldera. No obstante, en el presente proyecto no se ha entrado en detalle sobre estos compuestos. Sin embargo, en este apartado se mencionaran algunos de los compuestos mas usados en este tipo de tratamientos y las medidas de prevención que se deberán tomar ante estos.

Sulfato de aluminio. Se usa como coagulante. Puede causar:

- ▶ *Por inhalación:* dolor de garganta, opresión, dolor en el pecho y tos. Las concentraciones altas en el aire pueden causar congestión y constricción de las vías respiratorias dificultando la respiración en exposiciones cortas quemaduras a los ojos, la piel y membranas mucosas
- ▶ *Ojos:* el contacto con la humedad de los ojos puede causar irritación y quemaduras.
- ▶ *Piel:* causar irritación, enrojecimiento y picor.
- ▶ *Ingestión:* es poco tóxico por vía oral. La ingestión en grandes cantidades del producto sólido, puede causar irritación del tracto gastrointestinal, dolor abdominal, náuseas y vómito. Puesto que sólido se disuelve en ambientes húmedos puede causar quemaduras en la boca y en el tracto digestivo, sangrado estomacal.
- ▶ *Exposición repetida:* no se conocen efectos crónicos.

Las medidas preventivas que se proponen son las siguientes:

1. Medidas de protección individual, uso de protecciones respiratorias, de gafas de seguridad, guantes, ropa adecuada y botas.
2. Medidas de ventilación.
3. Estaciones de lavaojos y duchas de seguridad.
4. No comer, ni beber, ni fumar en el área de trabajo. Lavarse las manos.

Hipoclorito sódico. Se usa como desinfectante. Puede causar:

- ▶ *Por inhalación:* irritación de los ojos, la nariz y la garganta. Alta concentración de vapores produce quemaduras, edema pulmonar y de la laringe, tos.
- ▶ *Ojos:* puede causar severa irritación y daño.
- ▶ *Piel:* causar quemaduras.
- ▶ *Ingestión:* quemaduras en la boca, náuseas, vómito. Puede llegar a producir colapso circulatorio, delirio, coma y posible perforación de esófago y estómago.
- ▶ *Exposición repetida:* dermatitis, eczemas.

Las medidas preventivas que se proponen son las mismas que las anteriores.

10.3.4 Riesgos físicos

Su origen está en los distintos elementos del entorno de los lugares de trabajo. La humedad, el calor, el frío, el ruido, etc. pueden producir daños a los trabajadores.

Los riesgos físicos que se pueden dar en la instalación diseñada son los siguientes:

Ruido. Se define como un sonido no deseado, inarticulado, confuso, cuya intensidad varía con el tiempo. Los efectos patológicos del ruido son:

- ▶ Trauma acústico: lesión del oído interno. Irreversible.
- ▶ Hipertensión arterial.
- ▶ Alteración del ritmo cardíaco.
- ▶ Trastornos de tipo respiratorio.
- ▶ Perturbación en la secreción hormonal (adrenalina).
- ▶ Trastornos nerviosos.

Para la medición de ruidos se utilizan sonómetros, dosímetros y analizadores de frecuencia.

Según el *R.D. 286/2006*, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, en ningún caso la exposición del trabajador deberá superar los valores límites de exposición, establecidos en dicho reglamento.

Si estos valores son mayores a los permitidos, se tomarán las siguientes medidas preventivas:

1. Sobre la fuente:
 - Disminuyendo la energía del ruido por medio de sistemas conductores de la vibración.
 - Cambiando el acoplamiento entre el sistema productor del ruido y el sistema propagador.
 - Sustitución por otro equipo menos sonoro.
2. Sobre el medio de transmisión:
 - Aumentando la distancia entre la fuente y el receptor.
 - Aislar acústicamente la fuente de ruido.

3. Sobre el receptor:

- Utilización de protecciones personales: tapones (reducen 10-20 dB), auriculares (reducen 50 dB).
- Aislado al trabajador.
- Realizando una rotación del personal para reducir el tiempo de exposición.

Temperatura. En ciertas ocasiones, el ambiente térmico puede generar riesgos para la salud. Generalmente estas situaciones se relacionan con la existencia de altas temperaturas, humedad y trabajos que impliquen un cierto esfuerzo físico.

La exposición excesiva a un ambiente caluroso puede ocasionar:

- ▶ Golpe de calor.
- ▶ Agotamiento.
- ▶ Calambres.
- ▶ Desmayos.
- ▶ Sarpullidos.

Algunas de las medidas preventivas y de protección propuestas son:

1. Organización del trabajo:

- En las épocas más calurosas reducir el tiempo de exposición al sol, tratando de evitar, especialmente, la franja horaria comprendida entre las 12 y las 17 horas.
- Realizar a primera hora, con menor radiación solar, las tareas que requieran mayor esfuerzo.
- Planificar los descansos de forma periódica en algún lugar sombreado.
- Programar rotaciones en el desarrollo de tareas repetitivas y las que supongan un especial esfuerzo físico o un mayor riesgo para el trabajador, limitando el tiempo de permanencia en tales condiciones.
- Evitar el trabajo en solitario durante el desarrollo de tareas en zonas peligrosas, aisladas o de acceso restringido.

2. Ingesta de líquidos.

3. Protección individual. Ropa de trabajo adecuada, ligera y holgada para no dificultar el intercambio térmico, sin que sea aconsejable recoger las mangas ni desabrocharse en exceso.

4. Vigilancia de la salud.

10.3.5 Riesgos de explosión

Atendiendo al *Real Decreto 681/2003*, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, se entenderá por atmósfera explosiva la mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.

En la instalación proyectada, la fuente de energía a emplear es gas natural. En caso de producirse una fuga no detectada, podría existir un riesgo de explosión que provocase daños estructurales, pérdida de vidas humanas o un costoso desperdicio de combustible.

Incluir además, la presencia de gases de combustión, vapores, nieblas o nubes de polvos en el aire que pueden crear una atmósfera potencialmente explosiva en la sala de calderas.

Las medidas de protección contra las explosiones serán las siguientes:

1. Cuando se trate de evitar los riesgos de ignición, se deberán tener en cuenta las descargas electrostáticas producidas por los trabajadores o el entorno de trabajo como portadores o generadores de carga. Se deberá proveer a los trabajadores de calzado antiestático y ropa de trabajo adecuada hecha de materiales que no den lugar a descargas electrostáticas que puedan causar la ignición de atmósferas explosivas.
2. La instalación, los aparatos, los sistemas de protección y sus correspondientes dispositivos de conexión solo se pondrán en funcionamiento si el documento de protección contra explosiones indica que pueden usarse con seguridad en una atmósfera explosiva.
3. Se dispondrán las medidas oportunas para reducir al máximo los riesgos que puedan correr los trabajadores por los efectos físicos de una explosión.
4. En caso necesario, los trabajadores deberán ser alertados mediante la emisión de señales ópticas y/o acústicas de alarma y desalojados en condiciones de seguridad antes de que se alcancen las condiciones de explosión.
5. Se dispondrán y mantendrán en funcionamiento salidas de emergencia que, en caso de peligro, permitan a los trabajadores abandonar con rapidez y seguridad los lugares amenazados.

10.4 Seguridad en Sala de Calderas

El Reglamento de aparatos a presión, mediante sus ITC (Instrucciones Técnicas Complementarias) determina, para cada aparato, las prescripciones de seguridad que deberán cumplir, así como las características de los emplazamientos o salas donde estén instalados, en función de su categoría.

Real Decreto 1244/1979 de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de aparatos a presión. Modificado por el **Real Decreto 507/1982 de 15 de enero**, por el **Real Decreto 473/1988 de 30 de marzo** y por el **Real Decreto 1504/1990 de 23 de noviembre**. Completado mediante las siguientes Instrucciones Técnicas Complementarias:

La sala o recinto de calderas deberá ser de dimensiones suficientes para que todas las operaciones de mantenimiento, entretenimiento y conservación puedan efectuarse en condiciones de seguridad.

En todos los casos las salidas serán de fácil acceso. Las salas de calderas deberán estar perfectamente iluminadas y especialmente en lo que respecta a los indicadores de nivel y a los manómetros.

Las plataformas y escaleras de servicio de la instalación dispondrán de medios de acceso fácilmente practicables.

Toda sala de calderas deberá estar totalmente libre de polvo, gases o vapores inflamables. Asimismo habrá de estar permanentemente ventilada, con llegada continua de aire tanto para su renovación como para la combustión.

Cuando la sala de calderas no pueda comunicarse directamente con el exterior, dispondrá de comunicación con otras habitaciones para la entrada de aire. Las habitaciones que comuniquen con la sala de calderas dispondrán, a su vez, de una ventilación adecuada, con unas secciones de comunicación al exterior. En el caso de locales aislados, sin posibilidad de llegada de aire por circulación natural, se dispondrán llegadas de aire canalizadas.

En la sala o recinto de calderas deberá prohibirse todo trabajo no relacionado con los aparatos contenidos en la misma, y en sus puertas se hará constar la prohibición expresa de entrada de personal ajeno al servicio de las calderas.

No se permitirá el almacenamiento de productos combustibles, con la excepción del depósito nodriza de combustible para las calderas, ni la ubicación de cualquier otro producto o aparato cuya reglamentación específica así lo prohíba.

La categoría de una sala de calderas vendrá determinada por la de la caldera de mayor categoría entre las allí instaladas, con independencia de su número.

En lugar fácilmente visible de la sala o recinto de calderas se colocará un cuadro con las instrucciones para casos de emergencia, así como un manual de funcionamiento de las calderas allí instaladas.

10.5 Controles para el manejo y seguridad de la caldera

10.5.1 Controles para manejo y seguridad de agua

- ▶ Control de nivel por flotador.

Sistema que habilita el contactor de la bomba por intermedio de un interruptor para controlar el agua en la caldera.

- ▶ Control de nivel (Auxiliar) Warrick.

Se acciona cuando el control de flotador falla, protege la caldera por bajo nivel de agua apagando el quemador, posee un electrodo que al dejar de censar agua inhabilita el quemador.

En el caso de detectar el nivel de agua por debajo de la mitad del volumen total, no se debe suministrar agua fría a la caldera porque quiebra por choque térmico brusco.

10.5.2 Controles para manejo y seguridad de combustible

El sistema de manejo de combustible esta compuesto por elementos funcionales indispensables para una optima operación de transporte del combustible a la zona de quema a condiciones especiales de temperatura y presión. Estos elementos deben funcionar correctamente, pues manejan líquidos o gases inflamables, que pueden causar un accidente.

El sistema de manejo de combustible se compone por:

- ▶ Filtro: protección de cuerpos extraños.
- ▶ Bomba: mecanismo de transporte.
- ▶ Precalentador eléctrico y a gas: elevar la temperatura del combustible.
- ▶ Válvula desaireadora: sacar el aire en el precalentador eléctrico.
- ▶ Válvula termostática: localizada a la entrada del calentador de vapor, si baja la temperatura del combustible se abre.

- ▶ Válvula Reductora: reduce la presión de vapor de la línea al precalentador según lo requerido por este.
- ▶ Trampa de condensado o purgadores: desalojar los condensados a la salida del precalentador.
- ▶ Manómetro y termómetro: se instalan después del filtro y muestran presión de atomización y temperatura.
- ▶ Válvula Modulante: regula la presión y la cantidad de combustible al quemador principal.
- ▶ Válvulas Solenoides: abren y cierran el flujo de combustible.

10.5.3 Controles para el manejo y seguridad del aire de combustión

Control que garantiza la existencia de flujo de aire y habilita el control de combustión, para que siga la secuencia de encendido.

10.5.4 Control para el manejo y seguridad de calderas moduladas

Un sistema modulado permite aumentar o disminuir la generación de vapor, variando la cantidad de combustible en el quemador.

Esta modulación debe conservar las proporciones de aire y combustible para lograr una combustión eficiente con bajos niveles de contaminación por residuos.

La secuencia de modulación consiste en:

1. Censa presión de vapor, percibida por el sensor.
2. Envía señal eléctrica a motor modulador.
3. El modulador acciona el regulador de aire y la válvula reguladora de combustible mecánicamente.

10.5.5 Controles para manejo y seguridad de llama

El control de combustión permite que se produzca y sostenga la llama. El sistema tiene una secuencia de encendido y operación automática para habilitar o deshabilitar el sistema de combustión, mediante el censo de variables como: existencia de llama, presión de atomización, demanda necesaria, etc.

10.5.6 Control para seguridad de gas en chimenea

Es ubicado en algunas calderas un termómetro a la salida de los gases, en cual es enclavado directamente con el quemador para desactivarlo cuando la temperatura supera el Set Point indicado. Esta elevada temperatura puede originarse por falta de agua, hollinamiento e incrustaciones al lado del agua, etc.

10.5.7 Válvulas de seguridad

Se accionan a determinada presión de trabajo, desalojando cierta cantidad de vapor. Debe ser manipulada solo por personal autorizado, y contener los sellos de seguridad luego de manipulada.

10.5.8 Purgas

El agua y vapor presente en una caldera esta provisto de sedimentos y material particulado que deben ser evacuados para evitar mal formaciones en la estructura y evitar la falsa toma de señales de presión y temperatura de los diferentes elementos de control y seguridad. Existen purgas de:

- ▶ Columna de agua: se hace por lo menos cada turno. Si la cámara se queda con lodos, el flotador se queda pegado dando una falsa señal de que la caldera tiene agua.
- ▶ Purga de fondo: para desalojar los lodos de la caldera en la parte inferior. Si hay sedimentación se generan puntos calientes que agrietan y queman las láminas de la caldera.
- ▶ Purga continua: desaloja los lodos que circulan en el agua, las espumas y las grasas. Es continua al mantener la válvula con una proporción de apertura.

11 BIBLIOGRAFÍA

MANUALES

- [1] ***“Transporte de Fluidos por Tuberías”***
Fritz Herning. Editorial Labor, S.A., 1975.
- [2] ***“Flujo de Fluidos Válvulas, Accesorios y Tuberías”***
Crane. Editorial McGraw-Hill, 1988.
- [3] ***“Válvulas: Selección, Uso y Mantenimiento”***
Richard W. Greene. Editorial McGraw-Hill, 1971.
- [4] ***“Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor”***
O.Levenspiel. Editorial Reverté, 1986.
- [5] ***“Procesos de Transferencia de Calor”***
Donald Q. Kern. Editorial Cecsa, 19 Impresión, 1986.
- [6] ***“Flujo Estacionario de Fluidos Incomprensibles en Tuberías”***
Rafael Pérez García, Pedro L. Iglesias Rey, Vicente S. Editorial Fuentes Miguel, 2005.
- [7] ***“Ingeniería Química”***
J.M. Coulson, J.F. Richardson. Editorial Reverté, S.A., 1979.
- [8] ***“Biocarburantes Líquidos: Biodiésel y Bioetanol”***
J.M. García Camús, J.A. García Laborda. Universidad Rey Juan Carlos, 2006.
- [9] ***“Aceites y Grasas Industriales”***
Alton E. Bailey. Editorial Reverté.
- [10] ***“Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”***
R. H. Perry, D. W. Green. Editorial McGraw-Hill, 1999.
- [11] ***“Fundamentos de Tecnología Química”***
Vollrath Hopp. Editorial Reverté (Barcelona), 1984.
- [12] ***“Instalaciones de Calefacción”***
Martí Rosas I Casals. Editorial VOC.

[13] ***“Centrales de Vapor”***

G.A. Gaffert. Editorial Reverté, S.A., 1981.

[14] ***“Calderas de Vapor”***

Vol.nº 1, Grupo C. Editorial ASINEL, 1985.

[15] ***“Procesos y Tecnologías de Máquinas y Motores Térmicos”***

J.R. Serrano Cruz, J. Arreglé, J. Galdino. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, D.L., 2002.

[16] ***“Mecatrónica: Sistema de Control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica”***

W. Bolton. 2º Edición. Editorial Boixareu Editores.

[17] ***“Instrumentación Industrial”***

Antonio Creus Sole. 7ª Edición. Editoriaal Marcombo.

[18] ***“El ABC de la Instrumentación en el Control de los Procesos Industriales”***

Enríquez Harper, Gilberto. Editorial Limusa Noriega, 2000.

[19] ***“Control e Instrumentación de Procesos Químicos”***

P. Ollero, E. Fernández. Editorial Síntesis.

[20] ***“Complejos Industriales”***

Miguel Casals Casanova, M.Dolors Calvet Purg, Xavier Roca Ramon. Ediciones U.P.C. (Universidad Politécnica de Cataluña), 2003.

[21] ***“Gas Natural: Características, Distribución y Aplicaciones Industriales”***

E. Borrás Brucart. Ediciones Técnicos Asociados.

[22] ***“Dispositivos y Sistemas para Ahorro de Energía”***

Pere Esquerrá Pizá. Editorial Productica.

[23] ***“Disminución de Costes Energéticos en la empresa: Tecnologías y Estrategias para el Ahorro y la Eficiencia Energética”***

Amaya Martínez Gracia, Alicia Valero Delgado, Alfonso Aranda Usón, Ignacio Zabalza Bribián, Sabina Scarpellini. Editorial Fundación Confemetal, D.L., 2006.

[24] ***“Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Procesos y Residuales”***

Miguel Rigola Lopeña. Editorial Marcombo (Barcelona), 1989.

[25] ***“Control Avanzado de Procesos, Teoría y Práctica”***

José Acedo Sánchez. Editorial Díaz Santos (Madrid), 2003.

[26] ***“Mecánica de Fluidos”***

Pedro Fernandez Díez. Departamento de ingeniería y eléctrica. Universidad de Cantabria. Libro electrónico.

[27] ***“Masoleinan Control Valve. Sizing Handbook”***

Bulletin OZ1000, Dresser Industries, Inc, Julio 2000.

[28] ***“Tratamiento y Valorización Energética de Residuos”***

Xavier Elias Castells. Editorial Fundación Universitaria Iberoamericana (Barcelona), 2005.

[29] ***“La transmisión de calor”***

F.Kreith, W.Z.Black. Editorial Alhambra, S.A., 1983.

PUBLICACIONES

[30] ***“Innovación: Biocombustibles, una Energía en la Encrucijada”***

Nº 10, Septiembre 2008.

[31] ***“Biodiésel: una alternativa real al diésel mineral”.***

G. Vicente, M. Martínez, J. Aracil. Ingeniería Química, Marzo de 2001, 135-145.

[32] ***“Dirección de Mercados Agroalimentarios: Perfil del Mercado Mundial del aceite de palma”***

Nº 40, Julio 2008

[33] ***“Biodiésel: Combustible Alternativo de Origen Vegetal”***

Ingenieros de Petróleos, U.N. Cuyo.

[34] ***Catálogo “Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y s/s”***

Tubasol, S.A., Enero 2006.

[35] ***Apuntes de la asignatura de “Operaciones Básicas de Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor”***

3º de Ingeniería Química, Universidad de Cádiz.

[36] ***Apuntes de la asignatura “Química Industrial”***

5º de Ingeniería Química, Universidad de Cádiz.

PÁGINAS WEB

www.e-industrias.com

www.fedepalma.org

www.biodiésel.com

www.grupoipcalderas.com

www.calderasstandars.es

www.lenntech.com

www.hidrosoluciones.com

www.icex.es

www.sagpya.gov

www.journeytoforever.org

www.biodiésel.org

www.biodiéselspain.com

SOFTWARE

Software Microsoft Visio.

Software Microsoft Excel.

Software Microsoft Word

Software AutoCad 2007.

Programa “SteamTab”.

MEMORIA DE CÁLCULOS

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA
CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

ANEXO I: DIMENSIONAMIENTO DE LA CALDERA

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

1	TIEMPO DISPONIBLE DE CALENTAMIENTO	100
2	DIMENSIONAMIENTO DE LA CALDERA.....	103
2.1	PÉRDIDAS DE CALOR EN TANQUE	103
2.1.1	<i>Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido</i>	<i>104</i>
2.1.2	<i>Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el aire</i>	<i>108</i>
2.1.3	<i>Pérdidas por convección desde la superficie del techo.....</i>	<i>110</i>
2.1.4	<i>Pérdidas por conducción fondo-terreno.....</i>	<i>111</i>
2.2	CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS	112
2.3	CÁLCULOS DEL REQUERIMIENTO DE VAPOR.....	114
2.3.1	<i>Etapa de mantenimiento de la temperatura.....</i>	<i>114</i>
2.3.2	<i>Etapa de calentamiento</i>	<i>115</i>
2.3.3	<i>Compensación de pérdidas de calor en tuberías.....</i>	<i>120</i>
2.4	POTENCIA DE LA CALDERA	121

1 TIEMPO DISPONIBLE DE CALENTAMIENTO

Inicialmente, se parte de aceite vegetal de palma africana a una temperatura de 10°C, la cual habrá que aumentarla hasta 40°C para reducir su viscosidad. Dicho aumento de temperatura se consigue mediante un aporte de vapor durante un determinado periodo de tiempo. Para poder determinar el tiempo del que se dispone para calentar un tanque de almacenamiento, es necesario entablar como base de partida que la descarga de estos tanques se realizará a través de un cargadero de cisternas de hasta 36 m³ cada una y para que esta descarga se realice en un tiempo considerable se dotará de dos puestos de descarga.

El tiempo que se tarda en descargar un tanque, será el tiempo disponible para calentar otro, de esta forma la planta de biodiesel trabajará en continuo sin tener que realizar ninguna parada por falta de materia prima.

La planta de biodiesel, donde será ubicada la instalación proyectada, dispone de seis tanques de almacenamiento para el aceite vegetal de palma africana. Las dimensiones de dichos tanques son las siguientes:

- ▶ Altura de la virola del tanque, H_T (25 m)
- ▶ Diámetro del tanque, Φ_T (22 m)
- ▶ Ángulo del techo, α (10°)
- ▶ Margen de altura máxima del líquido, ΔH_L (0,30 m). Por motivos de seguridad, el tanque no es llenado por completo normalmente se deja un margen de seguridad de treinta centímetros desde la altura máxima del tanque.

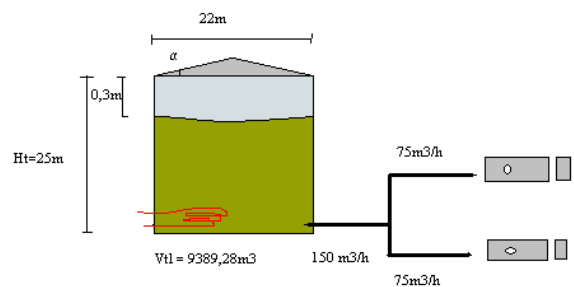


FIGURA A-I 1.1: DIMENSIONES DEL TANQUE

Conocidos estos datos, se determina el volumen de aceite contenido en el tanque cuando éste está lleno mediante la siguiente ecuación:

$$V_{aceite} = \pi \cdot r^2 \cdot H_{máx.L} \quad (1)$$

donde:

V_{aceite} : volumen de aceite cuando el tanque está lleno, en metros cúbicos (m³).

r : radio del tanque, en metros (11 m).

$H_{máx.L}$: altura máxima del líquido en el tanque, en metros, $H_T - \Delta H_L$ (24,7 m).

Sustituyendo en la *Ecuación 1*, los datos expuestos:

$$V_{aceite} = \pi \cdot (11 \text{ m})^2 \cdot 24,7 \text{ m} = 9389,28 \text{ m}^3$$

Se obtiene un volumen de 9389,28 m³ de aceite vegetal, contenidos en un tanque de almacenamiento.

Los camiones cisternas tienen una capacidad de 36 m³ cada uno como se mencionó anteriormente. Para vaciar completamente el tanque se necesitarán cierto número de camiones cisternas, el cual se puede determinar con la siguiente formula:

$$N^{\circ}cisternas = \frac{V_{aceite}}{V_{cisterna}} \quad (2)$$

donde:

N° cisternas: número de camiones cisternas por tanque de almacenamiento, en unidad de cisterna.

V_{cisterna}: volumen de camión cisterna, en metros cúbicos (36 m³/cisterna)

Sustituyendo los valores en la *Ecuación 2*:

$$N^{\circ}cisternas = \frac{9389,28 \text{ m}^3/\text{tanque}}{36 \text{ m}^3/\text{cisterna}} = 261 \text{ cisternas/tanque}$$

Para completar la descarga de un tanque serán necesario 261 cisternas.

Cada cisterna dispone de un tiempo de preparación (tiempo necesario en situar el camión cisterna en el cargadero y preparar las mangueras, conexiones y desconexiones) que equivale a 11 minutos. La boca de los camiones cisternas es de 4 pulgadas (in) de diámetro, no se podrá cargar más de 75 m³/h debido al dimensionamiento de bocas de cisternas y mangueras. Al disponer de dos cargaderos, el caudal de descarga del tanque es de 150 m³/h.

El tiempo de vaciado o lo que es lo mismo, el tiempo disponible en calentar el tanque que se vaciará a continuación será, la suma de los tiempos de preparación y de llenado de cada cisterna por el número de cisternas necesarias para el vaciado completo del tanque, entre dos, por emplear dos cargaderos al mismo tiempo:

$$t_d = (t_p + t_c) \cdot \frac{N^{\circ}cisternas}{2} \quad (3)$$

donde:

t_d : tiempo de descarga o vaciado del tanque, en horas (h).

t_p : tiempo de preparación de cisternas, en horas por cisterna (h/cisterna).

t_c : tiempo de carga de cisternas, en horas por cisterna (horas/cisterna).

El tiempo de carga de cada cisterna será:

$$t_c = \frac{V_{cisterna}}{Q_{cisternas}} \quad (4)$$

donde $Q_{cisterna}$ es el caudal máximo en metros cúbicos de llenado o carga de las cisternas ($75 \text{ m}^3/\text{h}$). Sustituyendo los datos en la *Ecuación 4*, se obtiene:

$$t_c = \frac{36 \text{ m}^3/\text{cisterna}}{75 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,48 \frac{\text{h}}{\text{cisterna}}$$

Empleando la *Ecuación 3* y sustituyendo el dato hallado anteriormente:

$$t_d = \left(11 \frac{\text{min}}{\text{cist}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} + 0,48 \frac{\text{h}}{\text{cist}} \right) \cdot \frac{261 \text{ cist}}{2} = 86,60 \text{ h}$$

Se obtiene un tiempo de descarga **86,60 h** el cual se empleará en el calentamiento del próximo tanque a descargar.

2 DIMENSIONAMIENTO DE LA CALDERA

El dimensionamiento de la caldera se realiza para las peores condiciones que se puedan dar, asegurando de esta forma su buen funcionamiento.

Inicialmente, como ya se ha mencionado se parte de aceite a una temperatura de 10°C. La temperatura ambiente es de 5°C. Para facilitar el transporte del aceite vegetal por el entramado de tuberías y la descarga, es necesario alcanzar 40°C, para ello se dispone de un aporte de vapor durante un determinado periodo de tiempo (86,60 h) logrando dicho objetivo.

Una vez alcanzada la temperatura, será necesario mantenerla como consecuencia de las pérdidas de calor producidas; para lograr mantener la temperatura, será necesario otro aporte de calor (menor) mediante vapor a través del serpentín.

Para determinar el requerimiento de vapor necesario aportar al sistema de calefacción, se debe considerar:

- ▶ Calor disipado a los alrededores (pérdidas): en el tanque y la tubería.
- ▶ Calor requerido para llevar el contenido del tanque a la temperatura deseada.

2.1 Pérdidas de calor en tanque

La temperatura del líquido contenido en el tanque y del aire que queda sobre él, se consideran que permanecen constante.

El coeficiente de intercambio de calor (U) es mayor en la zona donde hay líquido que en la zona donde hay aire, por lo que las mayores pérdidas se van a dar cuando exista la mayor área lateral en contacto con el líquido, es decir, cuando el tanque esté lleno. Por tanto, el sistema de vapor debe ser diseñado para el tanque lleno.

A medida que el nivel baja, las pérdidas totales serán menores y el sistema de control irá reduciendo el aporte de vapor.

Cuando el tanque se encuentra lleno, las pérdidas que se producen son las siguientes:

- ▶ Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido (q_1)
- ▶ Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el vapor (q_2)
- ▶ Pérdidas por convección desde la superficie del techo (q_3)
- ▶ Pérdidas por conducción fondo-terreno (q_4)

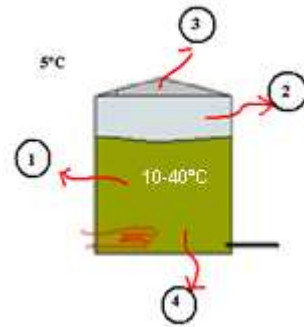


FIGURA A-I 2.1: PÉRDIDAS DE CALOR EN TANQUE

Se realizan las siguientes aproximaciones:

- ▶ Se considera despreciable la resistencia a la conducción en la chapa del tanque frente a las otras resistencias que en cada caso está en serie con ella. No obstante, el tanque está aislado, por lo que si se tomará en cuenta la resistencia que opone el aislante.
- ▶ Se considera despreciable el calor gastado en calentar el aire que entra en el tanque durante el vaciado por compensar presiones, frente al consumo de calentamiento, debido a elevación de temperatura y pérdidas, en vaciado y calentamiento.
- ▶ Se considera temperatura homogénea en todos los fluidos en cada instante.
- ▶ No se consideran las pérdidas en el proceso de llenado, se podría incluir un coeficiente de seguridad para la curva de enfriamiento.
- ▶ Se considera un valor medio al número de Grashof durante el calentamiento, vaciado y enfriamiento, ya que las propiedades del aire varían muy poco en el rango de temperatura de trabajo.

A continuación se desarrollan cada una de las pérdidas que se producen en tanque.

2.1.1 Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido

Para el cálculo del calor perdido por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido se hace uso de la siguiente expresión:

$$q_1 = U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot (T_i - T_{\infty}) \quad (5)$$

donde:

U_{lcl} : coeficiente global de transmisión de calor lateral en contacto con el líquido, en kilocalorías por hora metro cuadrado grado centígrado ($\text{kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

A_{lcl} : área lateral en contacto con el líquido, en metros cuadrados (m^2).

$$A_{lcl} = 2 \cdot \pi \cdot H_{\text{m}á\text{x}.l} = 2 \cdot \pi \cdot 11 \text{ m} \cdot 24,7 \text{ m} = 1.707,14 \text{ m}^2$$

T_i : temperatura interior, en grados centígrados (40°C).

T_∞ : temperatura ambiente, en grados centígrados (5°C).

El coeficiente global de transmisión de calor se calcula mediante:

$$U_{lcl} = \frac{1}{R_{cov.i} + R_{cond.} + R_{cov.ext.}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int.l}} + \frac{e_{asl}}{K_{asl}} + \frac{1}{h_{ext.}}} \quad (6)$$

donde:

$R_{cov.i}$: resistencia a la convección interior, ($\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}/\text{kcal}$).

$R_{cond.}$: resistencia a la conducción, ($\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}/\text{kcal}$).

$R_{cov.ext.}$: resistencia a la convección exterior, ($\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}/\text{kcal}$).

$h_{int.l}$: coeficiente de convección interno en el seno del líquido, ($\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}$).

$h_{ext.}$: coeficiente de convección externo tanque-atmósfera ($\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}$).

e_{asl} : espesor del aislante del tanque, mantas de lana mineral (0,07 m). Es una medida normal de suministro.

K_{asl} : conductividad térmica del aislante del tanque, mantas de lana mineral (0,033 $\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}$). Suministrado por fabricante.

La resistencia a la convección interior en el seno del líquido es muy pequeña respecto a la resistencia a la convección externa tanque-atmósfera, por lo que se considera despreciable, quedando la Ecuación 6:

$$U_{lcl} = \frac{1}{\frac{e_{asl}}{K_{asl}} + \frac{1}{h_{ext.}}} \quad (7)$$

Para determinar el coeficiente de convección externo, se hace uso de un número adimensional, denominado número de Nusselt (Nu):

$$Nu = \frac{h \cdot \Phi_T}{K_{aire}} \quad (8)$$

donde:

h : coeficiente de convección, ($\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}$).

Φ_T : diámetro del tanque (22 m).

K_{aire} : conductividad térmica del aire, ($\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{C}$).

En el caso del flujo sobre cilindros o esferas, la capa límite puede sufrir una transición del flujo laminar al turbulento y además también suele existir separación en

algún punto de la parte de atrás de la intercara entre el objeto y el fluido. La razón de esta separación es la presión creciente en la dirección del flujo.

Por todo ello, se emplea para el cálculo del número de Nusselt la siguiente correlación:

$$Nu = \frac{h \cdot \Phi_{tanque}}{K_{aire}} = C \cdot \left(\frac{\rho_{aire} \cdot V_{\infty} \cdot \Phi_T}{\mu_{aire}} \right)^n \cdot \left(\frac{Cp_{aire} \cdot \mu_{aire}}{K_{aire}} \right)^{\frac{1}{3}} = C \cdot Re^n \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

donde:

C y n: coeficientes relacionados con Reynolds.

Re: número de Reynolds, adimensional.

Pr: número de Prandtl, adimensional.

ρ_{aire} : densidad del aire, en kilogramo metro cúbico.

V_{∞} : velocidad del viento, en metros hora (70 km/h).

μ_{aire} : viscosidad del aire, en kilogramo partido de metro por segundo.

Cp_{aire} : calor específico del aire, en kilocalorías partido de kilogramos grados centígrados.

Para calcular el Reynolds se evalúa mediante la *Tabla 1* del *Anexo VI* las propiedades físicas del aire, a la temperatura de película (valor medio entre condiciones interiores de máxima temperatura y condiciones ambientales).

Los valores varían muy poco entre las temperaturas del rango de trabajo y se han utilizado medias aritméticas de los valores tabulados. Los valores que se obtienen son los siguientes:

$$\rho_{aire} = 1,16 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{aire} = 18,68 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$K_{aire} = 0,022 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^{\circ}\text{C}$$

$$Cp_{aire} = 0,24 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo en los términos adimensionales de la *Ecuación 9*, los datos obtenidos anteriormente, se obtiene:

$$Re = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{\infty} \cdot \Phi_T}{\mu_{aire}} = \frac{1,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{70 \text{ km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 22 \text{ m}}{18,68 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 2,68 \cdot 10^7$$

$$Pr = \frac{C_{p_{aire}} \cdot \mu_{aire}}{K_{aire}} = \frac{0,24 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} \cdot 18,68 \cdot \frac{10^{-6} kg}{m \cdot s}}{0,022 \frac{kcal}{h \cdot m^{\circ}C} \cdot \frac{1 h}{3600 s}} = 0,73$$

Para el cálculo de “C” y “n” se emplea la *Tabla 2 del Anexo VI*, en función del número de Reynolds. Extrapolando se obtienen los siguientes valores:

$$C = 0,00256$$

$$n = 1$$

Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^{\frac{1}{3}} = 0,00256 \cdot (2,68 \cdot 10^7)^1 \cdot (0,73)^{\frac{1}{3}} = 61.710,61$$

Una vez obtenido el valor de Nu, despejando de la *Ecuación (8)* y sustituyendo valores:

$$h_{ext.} = \frac{K_{aire} \cdot Nu}{\phi_{tanque}} = \frac{0,022 \frac{kcal}{h \cdot m^{\circ}C} \cdot 61.710,61}{22 m} = 62,22 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C}$$

luego, de la *Ecuación 7*:

$$U_{lcl} = \frac{1}{\frac{e_{asl}}{K_{asl}} + \frac{1}{h_{ext.}}} = \frac{1}{\frac{0,07m}{0,033 \frac{kcal}{h \cdot m^{\circ}C}} + \frac{1}{62,22 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C}}} = 0,46 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C}$$

En definitiva, sustituyendo en la *Ecuación 5* se obtiene el calor perdido por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido:

$$\begin{aligned} q_1 &= U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot (T_i - T_{\infty}) = 0,46 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 1.707,14 m^2 \cdot (40 - 5)^{\circ}C \\ &= 27.622,38 \frac{kcal}{h} \end{aligned}$$

El calor perdido por convección en la superficie lateral en contacto con el líquido (q_1) es igual a **27.622,38 kcal/h.**

2.1.2 Pérdidas por convección en la superficie lateral en contacto con el aire.

Se procede de la misma manera que en el caso anterior.

$$q_2 = U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot (T_i - T_{\infty}) \quad (10)$$

siendo:

q_2 : calor perdido por convección en la superficie lateral en contacto con el aire, en kilocalorías hora (kcal/h).

U_{lcv} : coeficiente global de transmisión de calor lateral en contacto con el aire, en kilocalorías por hora metro cuadrado grado centígrado (kcal/h·m²°C).

A_{lcv} : área lateral en contacto con el aire, en metros cuadrados (m²).

$$A_{lcv} = 2 \cdot \pi \cdot \Delta H = 2 \cdot \pi \cdot 11 \text{ m} \cdot 0,30 \text{ m} = 20,73 \text{ m}^2$$

El coeficiente global de transmisión de calor lateral en contacto con el aire se obtiene de la siguiente expresión:

$$U_{lcv} = \frac{1}{R_{cov.i} + R_{cond.} + R_{cov.ext.}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int.v}} + \frac{e_{asl}}{K_{asl}} + \frac{1}{h_{ext.}}} \quad (11)$$

Donde $h_{int.v}$ es el coeficiente de convección interno en el seno del aire.

Por semejanza, $h_{int.v}$, se calcula para el sistema superficie líquida-techo, que se aproxima a dos placas planas horizontales entre las que existe una distancia.

En el caso del aire confinado entre dos placas horizontales, con la inferior más caliente que la superior, se emplea la correlación de Jakob:

$$Nu = 0,195 Gr^{1/4} \quad 10^4 < Gr < 3,7 \cdot 10^5 \quad (12)$$

$$Nu = 0,068 Gr^{1/3} \quad 3,7 \cdot 10^5 < Gr < 10^7 \quad (13)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \rho_{aire}^2 \cdot \Delta H^3 (T_i - T_{\infty})}{\mu_{aire}^2} \quad (14)$$

siendo:

Gr: número de Grashof, adimensional.

g: coeficiente de gravedad, en metros por segundo al cuadrado. (9,8 m/s²)

β : coeficiente de expansión, (K⁻¹).

ΔH : margen de altura máxima del líquido, en metros (0,30 m).

El coeficiente de expansión se calcula para la temperatura final de calentamiento. Esto lleva, al inicio del calentamiento, a un Gr mayor del real, pero al tratarse de pérdidas es conveniente hacerlo así para realizar un diseño más conservador.

$$\beta = \frac{\frac{1}{T_{\infty}} - \frac{1}{T_i}}{1 - \frac{T_{\infty}}{T_i}} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{\frac{1}{5 + 273} - \frac{1}{40 + 273}}{1 - \frac{5 + 273}{40 + 273}} = 0,004 \text{ K}^{-1}$$

Este valor también es válido para el cálculo de las pérdidas en el tanque de descarga, ya que éste se hace desde la temperatura alcanzada en el calentamiento.

Sustituyendo en la *Ecuación 14*:

$$Gr = \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,004 \text{ K}^{-1} \cdot \left(1,17 \frac{kg}{m^3}\right)^2 \cdot (0,30m)^3 (313 - 278)K}{\left(18,68 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{m \cdot s}\right)^2} = 1,31 \cdot 10^8$$

Sustituyendo el número de Grashof en la *Ecuación 13*:

$$Nu = 0,068 Gr^{1/3} = 0,068 \cdot (1,31 \cdot 10^8)^{1/3} = 34,54$$

Luego despejando de la *Ecuación 8* y modificando los términos a las condiciones adecuadas de este apartado, se obtiene:

$$h_{int.v} = \frac{K_{aire} \cdot Nu}{\Delta H} = \frac{0,022 \frac{kcal}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot 34,54}{0,30 \text{ m}} = 2,55 \frac{kcal}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Sustituyendo en la *Ecuación 11*:

$$U_{lcv} = \frac{1}{\frac{1}{2,55 \frac{kcal}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}} + \frac{0,07m}{0,033 \frac{kcal}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{62,22 \frac{kcal}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}}} = 0,39 \frac{kcal}{h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Empleando la *Ecuación 10*, se determina el calor perdido por convección en la superficie lateral en contacto con el aire:

$$\begin{aligned}
 q_2 &= U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot (T_i - T_\infty) = 0,39 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 ^\circ\text{C}} \cdot 20,73 \text{ m}^2 \cdot (40 - 5)^\circ\text{C} \\
 &= 284,04 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}
 \end{aligned}$$

Se obtiene que el calor perdido por convección en la superficie lateral en contacto con el aire (q_2) es **284,04 kcal/h**.

2.1.3 Pérdidas por convección desde la superficie del techo

Al igual que en los casos anteriores:

$$q_3 = U_t \cdot A_t \cdot (T_i - T_\infty) \quad (16)$$

donde:

U_t : coeficiente global de transmisión de calor en la superficie del techo.

A_t : área del techo, en metros cuadrado (m^2).

$$A_t = \pi \cdot r \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \pi \cdot (11 \text{ m})^2 \cdot \frac{1}{\cos 10^\circ} = 386 \text{ m}^2$$

El coeficiente global de transmisión de calor en la superficie del techo, será:

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{h_{int.v}} + \frac{e_{asl}}{K_{asl}} + \frac{1}{h_{ext.t}}} \quad (17)$$

Donde $h_{ext.t}$ es el coeficiente de convección exterior en la superficie del techo. Distinto de h_{ext} debido a que el techo es una superficie inclinada y la virola es vertical.

Dada la poca pendiente del techo, se emplea una correlación para placas planas [29]:

$$Nu = 0,036 \cdot Pr^{1/3} \cdot (Re^{0,8} - 23.200) \quad (18)$$

El número de Reynolds y el Prandtl se han calculado en un apartado anterior, por lo que sustituyendo los valores en la *Ecuación 18*:

$$Nu = 0,036 \cdot 0,73^{1/3} \cdot [(2,68 \cdot 10^7)^{0,8} - 23.200] = 27.715,67$$

Luego de la *Ecuación 8*, despejando y modificando los términos a las condiciones adecuadas de este apartado, se obtiene:

$$h_{ext.t} = \frac{K_{aire} \cdot Nu}{r} = \frac{0,022 \frac{kcal}{h m^2 C} \cdot 27.715,67}{11 m} = 55,88 \frac{kcal}{h m^2 C}$$

Donde “r” es el radio del tanque en metros.

Sustituyendo en la Ecuación 17:

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{2,55 \frac{kcal}{h m^2 C}} + \frac{0,07m}{0,033 \frac{kcal}{h m^2 C}} + \frac{1}{55,88 \frac{kcal}{h m^2 C}}} = 0,39 \frac{kcal}{h m^2 C}$$

Empleando la Ecuación 16:

$$q_3 = U_t \cdot A_t \cdot (T_i - T_{\infty}) = 0,39 \frac{kcal}{h m^2 C} \cdot 386 m^2 \cdot (40 - 5)^{\circ}C = 5.283,72 \frac{kcal}{h}$$

La pérdida de calor por convección en la superficie del techo es **5.283,72 kcal/h.**

2.1.4 Pérdidas por conducción fondo-terreno

Debido a que el tanque está en contacto con el terreno, una capa de zahorra de un espesor de 30 cm, es necesario calcular el calor que se pierde por éste. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$q_4 = K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot (T_i - T_s) \quad (19)$$

donde:

q_4 : calor perdido por conducción fondo-terreno.

$K_{zahorra}$: conductividad térmica de la capa de zahorra (1,298 kcal/h m°C). Dato obtenido de la Tabla 3 del Anexo VI.

A_f : superficie del fondo, en metros cuadrados (m²).

$$A_f = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (11 m)^2 = 380,13 m^2$$

$L_{zahorra}$: espesor de la capa de zahorra (0,30 m)

T_s : temperatura del terreno (10°C)

Al igual que en los casos anteriores, se considera despreciable la resistencia a la conducción a través de la chapa de fondo frente a la resistencia a la conducción de la capa de zahorras bajo el tanque.

Conocido todos los datos, sustituimos en la *Ecuación 19*:

$$q_4 = K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot (T_i - T_s) = 1,298 \frac{kcal}{m \cdot h^{\circ}C} \cdot \frac{380,13 m^2}{0,30 m} \cdot (40 - 10)^{\circ}C$$

$$= 49.341,23 \frac{kcal}{h}$$

El calor perdido por conducción desde el fondo del tanque al terreno es **49.341,23 kcal/h**.

La *Tabla A-I 2.1* muestra a modo resumen los resultados obtenidos en el apartado 3.1 del presente Anexo.

Calor perdido, q	Valor (kcal/h)
1	27.622,38
2	284,04
3	5.283,72
4	49.341,23

TABLA A-I 2.1: RESULTADOS DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN TANQUE

2.2 Cálculos de pérdidas de calor en tuberías

A la hora de conocer el caudal de vapor que debe suministrar la caldera para el calentamiento y el mantenimiento de la temperatura en los tanques, también es necesario calcular el calor que se pierde en la tubería desde que el vapor sale de la caldera y entra en el serpentín del tanque.

Para que estas pérdidas sean las mínimas posibles, se ha optado por el aislamiento de la tubería al igual que en los tanques.

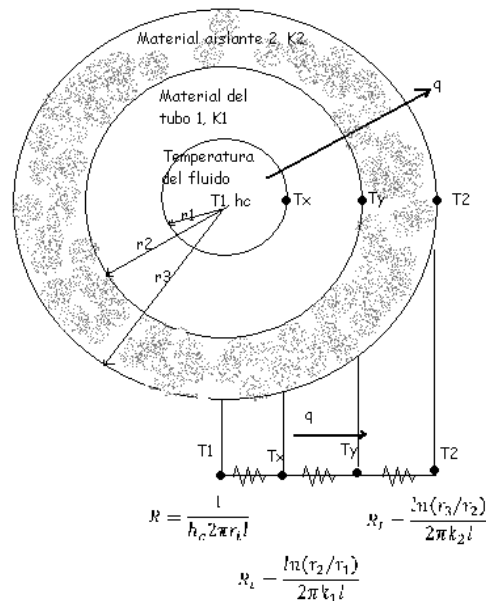


FIGURA A-I 2.2: CIRCUITO TÉRMICO EN SERIE, GEOMETRÍA CILÍNDRICA. [29]

El flujo térmico correspondiente a este problema viene dado por:

$$q_{tub.} = \left(\frac{\Delta T}{R_t} \right)_{total} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_c 2\pi r_i l} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 l} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 l}} \quad (20)$$

Siendo:

$q_{tub.}$: calor perdido en tuberías, en kilocalorías hora.

T_1 : temperatura media del vapor (150°C).

T_2 : temperatura de la superficie exterior del aislante (5°C).

k_1 : conductividad térmica del material del tubo (kcal/h·m°C).

k_2 : conductividad térmica del aislante, cañuelas de lana mineral (0,033 kcal/h·m°C). Suministrado por el fabricante.

r_1 : radio interior de la tubería, en metros (m).

r_2 : radio nominal de la tubería (0,08 m).

r_3 : radio de la tubería con el aislante (0,13 m).

$e_{ais.tub.}$: espesor de aislamiento de tubería, cañuelas de lana mineral (0,05 m).

Suministrado por fabricante.

l : longitud de tubería (400 m; diseño conservador).

La resistencia a la convección interior y la resistencia a la convección exterior son muy pequeñas respecto a la conducción por el aislante, luego estas dos, son despreciables. Sustituyendo en la Ecuación 20:

$$q_{tub.} = \left(\frac{\Delta T}{R_t} \right)_{total} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 l}} = \frac{(150 - 5)^{\circ C}}{\frac{\ln(0,13m/0,08m)}{2\pi \cdot 0,033 \frac{kcal}{h \cdot m^{\circ C}} \cdot 400m}} = 23.548,25 \frac{kcal}{h}$$

Se obtiene que el calor perdido en las tuberías es **23.548,25 kcal/h.**

2.3 Cálculos del requerimiento de vapor

Como ya se ha mencionado, el vapor requerido debe compensar las pérdidas de calor en tanque y las pérdidas de calor en las tuberías, así como proporcionar el calor suficiente para calentar el aceite vegetal.

A continuación se realizan los cálculos necesarios para determinar cuál es el requerimiento de vapor en cada uno de los casos dados: mantenimiento de la temperatura en el interior del tanque, calentamiento del contenido del mismo y compensación de pérdidas de calor en tubería.

2.3.1 Etapa de mantenimiento de la temperatura

La resolución del balance de energía al tanque durante el vaciado, permite conocer el caudal de vapor que es necesario aportar para mantener la temperatura deseada.

Por definición, la Ecuación general del balance de energía viene dada por:

$$\left(\begin{matrix} \text{Energía} \\ \text{acumulada} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Entrada de} \\ \text{energía} \\ \text{calorífica} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{Salida de} \\ \text{energía} \\ \text{calorífica} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Energía} \\ \text{calorífica} \\ \text{generada} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{Energía} \\ \text{calorífica} \\ \text{consumida} \end{matrix} \right)$$

De una forma mas abreviada, este balance de energía puede escribirse tal que:

$$(A) = (E) - (S) + (G) - (C) \quad (21)$$

Los términos de generación y consumo se desprecian (lo que se genera de energía calorífica es lo mismo que lo que se consume), en las condiciones de diseño, tanque lleno:

$$(A) = (E) - (S) \quad (22)$$

Desarrollando esta expresión:

$$\rho_{act} \cdot V_T \cdot C_{p_{act}} \cdot \frac{dT_i}{dt} = m_{sv} \cdot \lambda_v \cdot \eta - q_1 - q_2 - q_3 - q_4 \quad (23)$$

donde:

m_{sv} : caudal de vapor en vaciado, en kilogramos hora.

η : eficacia del proceso, igual a la unidad ya que se considera condensación total.

λ_v : calor latente de vaporización del agua en kilocalorías por kilogramos. Para condiciones de 150°C de temperatura y 4 kg/cm² de presión, equivale a 500 kcal/kg.

ρ_{act} : densidad del aceite de palma (880 kg/m³).

C_{pact} : calor específico del aceite de palma (0,45 kcal/kg°C).

V_T : volumen del tanque (9.389,28 m³)

Como lo que se quiere es mantener la temperatura interior constante, el término de acumulación se iguala a cero:

$$Ti = cte \quad (A) = 0$$

Luego, despejando de la Ecuación 24:

$$m_{sv} \cdot \lambda_v \cdot \eta = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \quad (24)$$

Desarrollando la Ecuación 24, se obtiene la Ecuación de mantenimiento de temperatura durante el vaciado del tanque:

$$m_{sv} \cdot \lambda \cdot \eta = U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot (T_i - T_{\infty}) + U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot (T_i - T_{\infty}) + U_t \cdot A_t \cdot (T_i - T_{\infty}) + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot (T_i - T_s)$$

Despejando de la Ecuación 24 y sustituyendo los valores conocidos de cálculos anteriores:

$$m_{sv} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{\lambda_v \cdot \eta}$$

$$m_{sv} = \frac{(27.622,38 + 284,04 + 5.283,72 + 49.341,23) \frac{kcal}{h}}{500 \frac{kcal}{kg} \cdot 1} = 165,06 \frac{kg}{h}$$

Se obtiene que para mantener el tanque a la temperatura objeto de calentamiento, 40°C, es necesario realizar un aporte de vapor de **165,06 kg/h**.

2.3.2 Etapa de calentamiento

El balance de energía, al igual que el caso anterior queda como en la Ecuación 22:

$$(A) = (E) - (S)$$

Desarrollando los términos:

$$\rho_{act} \cdot Cp_{act} \cdot V_T \cdot \frac{dT_i}{dt} = \dot{m}_{sc} \cdot \lambda_v \cdot \eta - q_1 - q_2 - q_3 - q_4$$

En esta etapa, el área permanece constante y la temperatura variable. Desarrollando los términos de la expresión:

$$\rho_{act} \cdot Cp_{act} \cdot V_T \cdot \frac{dT_i}{dt} = \dot{m}_{sc} \cdot \lambda_v \cdot \eta - U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot (T_i - T_{\infty}) - U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot (T_i - T_{\infty}) - U_t \cdot A_t \cdot (T_i - T_{\infty}) - K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot (T_i - T_s) \quad (25)$$

$$\rho_{act} \cdot Cp_{act} \cdot V_T \cdot \frac{dT_i}{dt} = \dot{m}_{sc} \cdot \lambda_v \cdot \eta - T_i \cdot \left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} + U_t \cdot A_t + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \right) + \left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot T_{\infty} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot T_{\infty} + U_t \cdot A_t \cdot T_{\infty} + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot T_s \right) \quad (26)$$

Despejando dT_i/dt :

$$\begin{aligned} \frac{dT_i}{dt} &= \frac{\dot{m}_{sc} \cdot \lambda_v \cdot \eta + \left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot T_{\infty} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot T_{\infty} + U_t \cdot A_t \cdot T_{\infty} + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot T_s \right)}{\rho_{act} \cdot Cp_{act} \cdot V_T} \\ &\quad - T_i \cdot \frac{\left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} + U_t \cdot A_t + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \right)}{\rho_{act} \cdot Cp_{act} \cdot V_T} \end{aligned} \quad (27)$$

Asignando a cada término una letra y agrupando variables:

$$\frac{dT_i}{dt} = A - BT_i \quad (28)$$

$$\frac{dT_i}{A - BT_i} = dt \quad (29)$$

Integrando:

$$\int \frac{-B}{-B} \cdot \frac{dT_i}{A - BT_i} = \int dt$$

$$\int -B \cdot \frac{dT_i}{A - BT_i} = -B \int dt$$

$$\ln(A - BT_i) = -Bt + C \quad (30)$$

Con la condición de que a $t = 0$; $T = T_{i0}$, se obtiene que:

$$C = \ln(A - BT_{i0}) \quad (31)$$

Luego, sustituyendo la *Ecuación 31* en la *Ecuación 30*:

$$\ln(A - BT_i) = -Bt + \ln(A - BT_{i0}) \quad (32)$$

Quitando logaritmo:

$$A - BT_i = \exp[-Bt + \ln(A - BT_{i0})] \quad (33)$$

Despejando, se obtiene una expresión de la temperatura, en función del tiempo (*Ecuación de calentamiento del tanque*):

$$T_i(t) = \frac{A}{B} - \frac{1}{B} \exp[-Bt + \ln(A - BT_{i0})] \quad (34)$$

Calculando los términos A y B de la expresión:

$$A = \frac{m_{sc} \cdot \lambda_v \cdot \eta + \left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} \cdot T_{\infty} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} \cdot T_{\infty} + U_t \cdot A_t \cdot T_{\infty} + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot T_s \right)}{\rho_{act} \cdot C p_{act} \cdot V_T} \quad (35)$$

$$B = \frac{\left(U_{lcl} \cdot A_{lcl} + U_{lcv} \cdot A_{lcv} + U_t \cdot A_t + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \right)}{\rho_{act} \cdot C p_{act} \cdot V_T} \quad (36)$$

De esta expresión se conocen todos los datos exceptuando el caudal de vapor necesario para el calentamiento (m_{sc}), por lo que se tendrá que iterar en la *Ecuación 34* para obtener el valor de “A” y así poder hallar el caudal de vapor.

En primer lugar, se sustituyen los datos en la *Ecuación 36*:

$$B = \frac{\left(0,46 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}} \cdot 1707,14\text{m}^2 + 0,39 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}} \cdot 20,73\text{m}^2 + 0,39 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}} \cdot 386\text{m}^2 + 1,298 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}} \cdot \frac{380,13\text{m}^2}{0,30\text{m}}\right)}{880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9389,28\text{m}^3 \cdot 0,45 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}}$$

$$B = 0,0007 \text{ h}^{-1}$$

Despejando A de la Ecuación 34:

$$A = BTi(t) + \exp[-Bt + \ln(A - BTio)]$$

siendo:

Ti: temperatura objetivo (40°C)

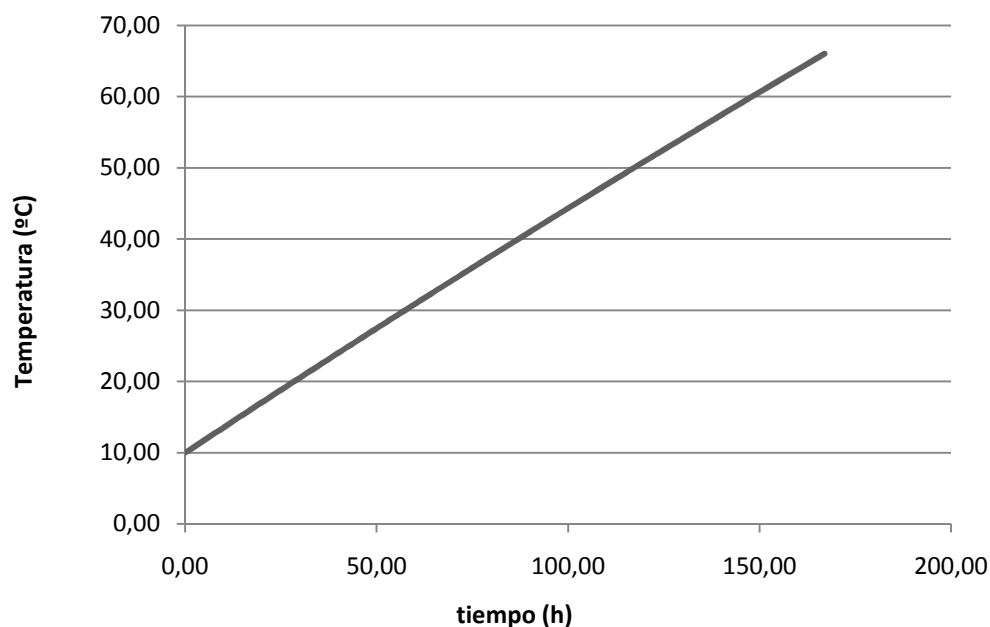
t: tiempo de calentamiento o de descarga (86,6 h)

Tio: temperatura inicial (10°C)

Haciendo uso de una hoja de cálculo se obtiene:

$$A = 0,3622 \text{ °C/h}$$

Conocido A y B, se elabora la *Tabla A-I 2.2* empleando la Ecuación 34. En ella se demuestra como aumenta la temperatura conforme pasa el tiempo. Esta misma tabla se representa de forma grafica como sigue:



GRÁFICA A-I 2.1: CURVA DE CALENTAMIENTO DEL TANQUE ALMACENAMIENTO

t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)
0,00	10,00	23,00	18,14	46,00	26,16	69,00	34,05
1,00	10,36	24,00	18,50	47,00	26,50	70,00	34,39
2,00	10,71	25,00	18,85	48,00	26,85	71,00	34,73
3,00	11,07	26,00	19,20	49,00	27,20	72,00	35,07
4,00	11,43	27,00	19,55	50,00	27,54	73,00	35,41
5,00	11,78	28,00	19,90	51,00	27,88	74,00	35,75
6,00	12,14	29,00	20,25	52,00	28,23	75,00	36,09
7,00	12,49	30,00	20,60	53,00	28,57	76,00	36,42
8,00	12,85	31,00	20,95	54,00	28,92	77,00	36,76
9,00	13,20	32,00	21,30	55,00	29,26	78,00	37,10
10,00	13,56	33,00	21,64	56,00	29,60	79,00	37,44
11,00	13,91	34,00	21,99	57,00	29,95	80,00	37,78
12,00	14,27	35,00	22,34	58,00	30,29	81,00	38,11
13,00	14,62	36,00	22,69	59,00	30,63	82,00	38,45
14,00	14,97	37,00	23,04	60,00	30,98	83,00	38,79
15,00	15,33	38,00	23,39	61,00	31,32	84,00	39,13
16,00	15,68	39,00	23,73	62,00	31,66	85,00	39,46
17,00	16,03	40,00	24,08	63,00	32,00	86,00	39,80
18,00	16,38	41,00	24,43	64,00	32,34	87,00	40,13
19,00	16,74	42,00	24,77	65,00	32,68	88,00	40,47
20,00	17,09	43,00	25,12	66,00	33,03	89,00	40,81
21,00	17,44	44,00	25,47	67,00	33,37	90,00	41,14
22,00	17,79	45,00	25,81	68,00	33,71	91,00	41,48

TABLA A-I 2.2: AUMENTO DE TEMPERATURA & TIEMPO

Para determinar el caudal de vapor requerido en el calentamiento del tanque, una vez obtenido el valor de A, se despeja de la Ecuación 35 el caudal de vapor:

$$\dot{m}_{sc} = \frac{A \cdot \rho_{act} \cdot Vc \cdot Cp_{act} - \left(Ulcl \cdot Alcl \cdot T_{\infty} + U_{lcv} \cdot Alc_v \cdot T_{\infty} + Ut \cdot At \cdot T_{\infty} + K_{zahorra} \cdot \frac{A_f}{L_{zahorra}} \cdot Ts \right)}{\lambda_v \cdot \eta}$$

Sustituyendo los valores:

$$\begin{aligned}
 m_{sc} &= \\
 &= \frac{0,3622 \cdot 880 \frac{kg}{m^3} \cdot 9389,28 m^3 \cdot 0,45 \frac{kcal}{kg^{\circ}C}}{500 \frac{Kcal}{kg} \cdot 1} \\
 &\quad - \frac{\left[5^{\circ}C \left(0,46 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} \cdot 1707,14 m^2 + 0,39 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} \cdot 20,73 m^2 + 0,39 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} \cdot 386 m^2 \right) + \left(1,298 \frac{kcal}{hm^{\circ}C} \cdot \frac{380,13 m^2}{0,30 m} \cdot 10^{\circ}C \right) \right]}{500 \frac{kcal}{kg} \cdot 1} \\
 &= 2.681,31 \frac{kg}{h}
 \end{aligned}$$

Se obtiene que el requerimiento de vapor necesario para el calentamiento del tanque es **2.681,31 kg/h** de vapor.

2.3.3 Compensación de pérdidas de calor en tuberías

El vapor necesario a aportar por la caldera para compensar las pérdidas en la tubería vendrá determinado por la siguiente expresión:

$$m_{st} = \frac{q_{tub.}}{\lambda_v} \quad (37)$$

Recordando que $q_{tub.}$ es igual a 23.548,25 kcal/h y sustituyendo en la *Ecuación 36*:

$$m_{st} = \frac{q_{tub.}}{\lambda_v} = \frac{23.548,25 \frac{kcal}{h}}{500 \frac{kcal}{kg}} = 47,10 \frac{kg}{h}$$

Se obtiene que es necesario **47,10 kg/h** de vapor para compensar las pérdidas de calor producidas en las tuberías.

La *Tabla A-I 2.3* muestra los resultados obtenidos en los apartados anteriores:

Caudal de vapor requerido		Valor (kg/h)
Calentamiento	m_{sc}	2.681,31
Mantenimiento	m_{sv}	165,06
Tubería	m_{st}	47,10

TABLA A-I 2.3: CAUDAL DE VAPOR REQUERIDO EN LOS DIFERENTES CASOS

El caudal de vapor que debe aportar la caldera, será la suma de los caudales de vapor necesarios para el calentamiento y la compensación de calor debido a las pérdidas en el tanque y tuberías, es decir:

$$miv = misc + msv + mist \quad (37)$$

donde m_v es el caudal de vapor total a suministrar por la caldera.

Sustituyendo los datos:

$$miv = 2681,31 + 165,06 + 47,10 = 2.893,47 \text{ kg/h}$$

El vapor total que debe aportar la caldera es **2.893,47 kg/h**.

2.4 Potencia de la caldera

Un aspecto muy importante a la hora de seleccionar un equipo es la potencia del mismo.

La potencia de una caldera designa en general la potencia útil que transmite efectivamente la caldera al circuito de calefacción. Se expresa en kW o en kcal/h, a menudo es el elemento crítico en la elección de una caldera.

La determinación de la potencia de la caldera se realiza mediante la siguiente expresión:

$$W_{caldera} = miv_t \cdot \lambda_v \quad (38)$$

$$W_{caldera} = 2.893,47 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \frac{4.160 \text{ kJ}}{1.000 \text{ kcal}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} = 1.671,78 \text{ kW}$$

La caldera debe de ser capaz de dar **1.671,78 kW** de potencia cubriendo prácticamente todas las necesidades de calefacción.

A modo resumen, la *Tabla A-I 2.4* muestra las necesidades requeridas por el sistema de calefacción que debe cumplir la caldera designada.

Dimensionamiento de la caldera	
Caudal de vapor	2.893,47 kg/h
Potencia	1.671,78 kW

TABLA A-I 2.4: DIMENSIONAMIENTO DE LA CALDERA.

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA
CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

ANEXO II: DIMENSIONAMIENTO DEL SERPENTÍN

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	123
2	DISEÑO TÉRMICO	124
3	DISEÑO MECÁNICO	126
3.1	SECUENCIA DE CÁLCULO.....	127
3.2	CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL SERPENTÍN	131
3.3	CASO A: SERPENTÍN 1 IN DE DIÁMETRO	132
3.4	CASO B: SERPENTÍN 1 $\frac{1}{2}$ IN DE DIÁMETRO	139
3.5	CASO C: SERPENTÍN 2 IN DE DIÁMETRO	144
3.6	CASO D: SERPENTÍN 3 IN DE DIÁMETRO	150
3.7	RESULTADOS GENERALES	155
4	PÉRDIDA DE CARGA EN SERPENTÍN	157
4.1	CASO A: SERPENTÍN 1 IN DE DIÁMETRO	158
4.2	CASO B: SERPENTÍN 1 $\frac{1}{2}$ IN DE DIÁMETRO.....	159
4.3	CASO C: SERPENTÍN 2 IN DE DIÁMETRO	160
4.4	CASO D: SERPENTÍN 3 IN DE DIÁMETRO	161
5	ESTUDIO ECONÓMICO	163
6	SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL SERPENTÍN	164

1 INTRODUCCIÓN

La configuración del serpentín seleccionado en el presente proyecto es tipo horquilla.

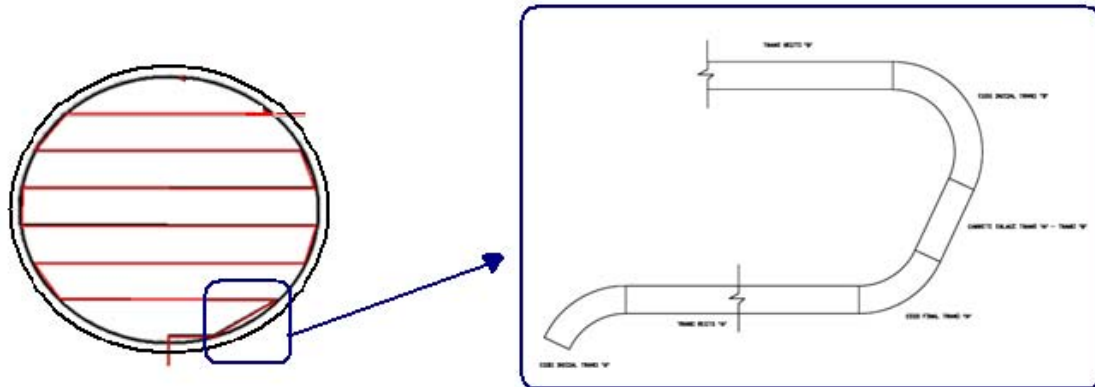


FIGURA A-II 1.1: CONFIGURACIÓN DEL SERPENTÍN

Los serpentines se sitúan en la zona baja del tanque, a una elevación sobre el fondo de 2 in.

Se opta por hacer un estudio de diferentes diámetros de serpentines para determinar cuál es el óptimo económico. Los casos a estudiar son:

- ▶ Caso A : serpentín 1 in
- ▶ Caso B: serpentín 1½ in
- ▶ Caso C: serpentín 2 in
- ▶ Caso D: serpentín 3 in

No es recomendable emplear serpentines de diámetro mayores a tres pulgadas (in), debido a la mala transferencia de calor. A mayores diámetros, sólo transfiere calor al exterior el flujo de vapor más próximo a las paredes de la tubería, desaprovechándose gran parte de la energía calorífica generada.

En general, los serpentines de 50,8 y 63,4 mm (2 y 2½ in) son los más económicos para su fabricación en taller y los de 38,1 y 58,8 mm (1½ y 2 in) para su fabricación en el lugar de utilización.

En primer lugar, se realiza el diseño térmico para conocer el área de intercambio de calor necesaria para llevar el contenido del tanque a la temperatura deseada.

Seguidamente, se procede al diseño mecánico en donde se determina la longitud del mismo, el número de tramos (vueltas), de codos, carretes y pulgadas de soldadura.

2 DISEÑO TÉRMICO

El diseño térmico de serpentines para tanques incluye la determinación del área de transmisión de calor requerida para mantener el contenido del tanque a una temperatura constante o para aumentar o disminuir la temperatura de su contenido, de acuerdo con una magnitud específica, en un tiempo determinado.

Para el cálculo del área de intercambio necesaria para el serpentín se hará uso de la expresión [10]:

$$A_c = \left[D_d + U_e A_e \left(\frac{T_f + T_0}{2} - T_\infty \right) \right] \left[\frac{1}{U_s [T_v - (T_f + T_0)/2]} \right] \cdot F \quad (1)$$

Donde:

A_c : área del serpentín, en metros cuadrados (m^2).

A_e : área equivalente, en metros cuadrados (m^2).

F : factor de diseño (seguridad), se considera igual a la unidad.

T_f : temperatura final de calentamiento, en grados centígrados ($40^\circ C$).

T_0 : temperatura inicial de calentamiento, en grados centígrados ($10^\circ C$).

T_v : temperatura del vapor, en grados centígrados ($150^\circ C$).

U_e : coeficiente global de transmisión de calor equivalente del tanque, en kilocalorías por hora metros cuadrados grado centígrado. Se obtiene de la *Tabla 4*, del *Anexo VI*. ($3,7 \text{ BTU}/^\circ F \cdot ft^2 h = 18 \text{ kcal}/h \cdot m^2 ^\circ C$).

U_s : coeficiente global de transmisión de calor del serpentín, en kilocalorías por hora metros cuadrados grado centígrado. Se obtiene de la *Tabla 5*, *Anexo VI*. ($141,59 \text{ kcal}/h \cdot m^2 ^\circ C$).

D_d : Duty de diseño (servicio energético), en kilocalorías hora (kcal/h).

El área equivalente (A_e) se obtiene de aplicar la *Ecuación 2* contenida en la *Tabla 4*, del *Anexo VI*.

$$A_e = 0,22 A_t + A_s + 0,43 d_t \quad (2)$$

Siendo:

A_t : área del techo, en metros cuadrados (386 m^2).

A_s : área de las paredes laterales del tanque, en metros cuadrados ($1.727,87 \text{ m}^2$).

d_t : diámetro del tanque, en metros (22 m).

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 2*:

$$A_e = 0,22 \cdot 386 m^2 + 1.727,87 m^2 + 0,43 \cdot 22 m = 1.822,26 m^2$$

El Duty de diseño se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_d = Q \cdot \lambda_v \quad (3)$$

Q: es el máximo caudal de vapor que tiene que soportar el serpentín, durante la fase de calentamiento del aceite hasta los 40°C (2681,31 kg/h).

λ_v : calor latente de vaporización, en kilocalorías por kilogramos (500 kcal/kg).

$$D_d = 2.681,31 \frac{kg}{h} \cdot 500 \frac{kcal}{kg} = 1.340.655 \frac{kcal}{h}$$

Luego sustituyendo los datos en la *Ecuación 1*:

$$A_c = \left[1.340.655 \frac{kcal}{h} + 18 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} \cdot 1.822,26 m^2 \left(\frac{40+10}{2} - 5 \right)^{\circ}C \right] \left[\frac{1}{141,59 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C} \left[150 - \frac{(40+10)}{2} \right]^{\circ}C} \right]$$

$$A_c = 112,81 m^2$$

Se obtiene que el serpentín precisa un área de intercambio de **112,81 m²**.

3 DISEÑO MECÁNICO

Como se dijo en la introducción del anexo, en el presente proyecto se opta por la elección de un serpentín de tipo horquilla, cuya configuración se observa en la *Figura A-II 3.1*.

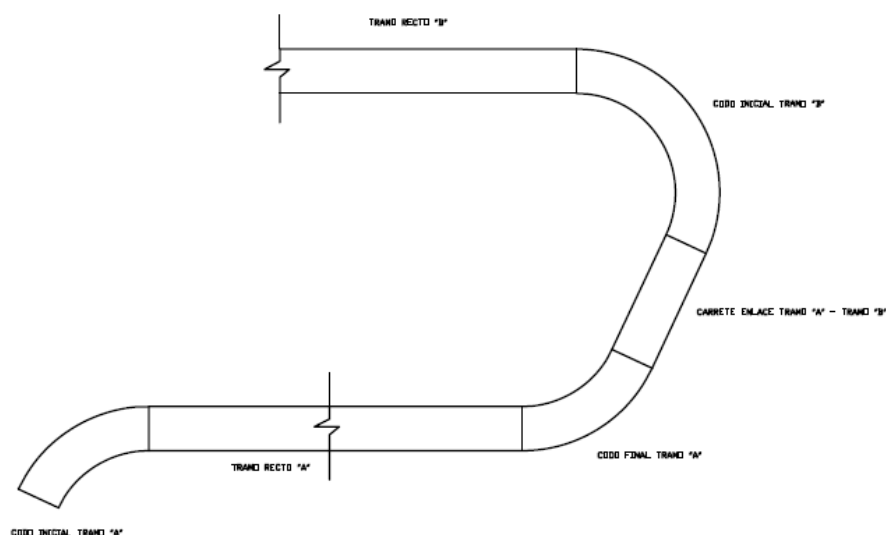


FIGURA A-II 3.1: CONFIGURACIÓN DEL SERPENTÍN

Cada tramo del serpentín, definiendo tramo como el número de vueltas del mismo, se compone de un tramo recto, dos codos y un carrete (fragmento recto de tubo que los une).

Se debe de tener en cuenta que debe de existir una separación mínima entre la pared del tanque y el serpentín, según datos bibliográficos, esta separación será de 6 in.

El espesor de pared del serpentín a seleccionar varía con el tipo de servicio y el material. Los serpentines de acero al carbono se fabrican con tubería de catálogo 80, para que sea capaz de admitir un cierto nivel de corrosión. En el sistema de vapor del presente proyecto no se dan problemas de corrosión, por tanto los serpentines se fabrican con tuberías de catálogo 40 para mantener un costo mínimo.

En el diseño térmico del serpentín, se ha obtenido el área de intercambio de calor necesaria, ahora se trata de calcular la longitud requerida del serpentín en función del diámetro, el número de vueltas que ha de tener para que la distribución del serpentín sea homogénea en vista en planta, el número de codos, carretes y pulgadas de soldadura.

Debido al área de intercambio de calor requerido por el sistema, el serpentín debe

de ser de gran longitud y en función del diámetro del mismo, el número de vueltas que debe dar para que la distribución del serpentín sea homogénea en la vista en planta del tanque es elevado, por lo que también se requiere de un gran número de codos. Todo esto se traduce en una elevada pérdidas de carga. Para solucionar este problema, se divide el serpentín (de longitud determinada y diámetro) en secciones iguales, colocando cada sección una encima de otra, a la misma distancia existente entre la primera sección del serpentín y el fondo del tanque (2 in). De esta forma se consigue reducir la pérdida de presión, reduciendo el caudal del fluido a través de cada sección del serpentín y manteniendo el área de intercambio de calor requerido en el sistema.

3.1 Secuencia de cálculo

La secuencia de cálculo tomada es la siguiente:

- 1°. Cálculo de la longitud total del serpentín (longitud teórica) necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.
- 2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.
- 3°. Determinación del número de codos y carretes.
- 4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.
- 5°. Cálculo de la longitud de los carretes.
- 6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura.
- 7°. Determinación de la longitud real del serpentín.
- 8°. Cálculo de la distancia entre tramos rectos de tubos.

A continuación se procede a explicar de forma breve cada uno de los pasos anteriores.

1°. Cálculo de la longitud total del serpentín necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.

Conocido el área de intercambio de calor necesario, obtenido en el diseño térmico, se halla la longitud del serpentín en función del diámetro del mismo mediante la siguiente expresión:

$$L_s(\text{teórica}) = \frac{A_c}{2\pi r_s} = \frac{A_c}{\pi \phi_s} \quad (4)$$

siendo:

L_s (teórica): longitud del serpentín necesaria, en metros (m).

r_s : radio del serpentín, en metros (m).

ϕ_s : diámetro del serpentín, en metros (m).

2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.

El número de tramos, tal y como se indica en la *Tabla A-II 3.1*, será:

Tramo	Distancia a tabuladura en tangente (dt)
1	a
2	a + d
3	a + 2d
N	a + (n-1)d

TABLA A-II 3.1: CÁLCULO DEL NÚMERO DE TRAMOS

Se denomina “distancia a tabuladura tangente, (dt)” a la distancia de un tramo cualquiera del serpentín (medida en perpendicular a éste tramo desde su centro) hasta la circunferencia imaginaria tangente a los recodos que envuelve a todo el serpentín.

El valor de “a” equivale al radio de un codo largo de 90°. Se denomina “d” a la “distancia entre centerline (eje longitudinal) de tubos”, esta distancia no debe de ser menor que dos veces el diámetro nominal del tubo empleado. Su valor se determina con ayuda de una hoja de cálculo mediante tanteo, hasta obtener la longitud necesaria del serpentín (o un valor mayor, longitud real).

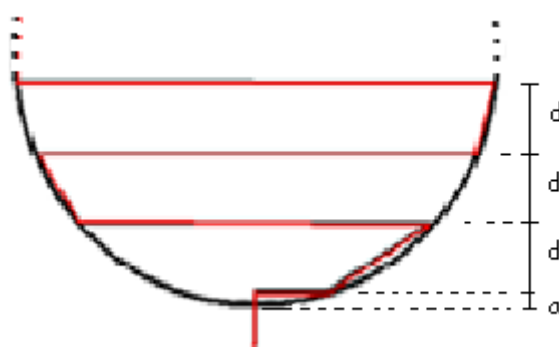


FIGURA A-II 3.2: DISTANCIA ENTRE CENTERLINE

En este punto, se supone un valor de “d” y llegados al punto 8° se tantea hasta obtener una longitud del serpentín igual o mayor a la longitud teórica.

El número de tramos finalizará cuando el valor de la distancia a tabuladura tangente sea igual o menor al diámetro de la circunferencia imaginaria.

La longitud de cada uno de los tramos se determina mediante:

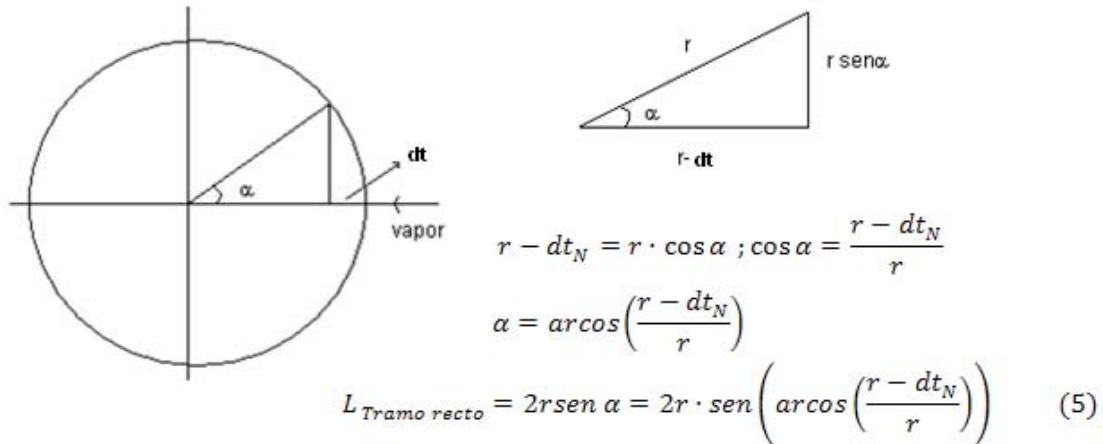


FIGURA A-II 3.3: CÁLCULO DE LA LONGITUD RECTA DE CADA TRAMO

siendo:

L_{Tr} : longitud de tramo recto (longitud de cada tramo de la sección), en metros (m).

r : radio de la circunferencia imaginaria, en metros (m).

dt_N : distancia a tabuladura tangente del tramo N, en metros (m).

Un aspecto importante a considerar es que, el primer tramo de cada sección del serpentín cuenta con una longitud igual a la mitad de la calculada, ya que el tubo que entra al tanque gira 90° a la izquierda o a la derecha. Esto no se considera con el último tramo, que sale sin codo, en tramo recto formando un ángulo con la virola inferior del tanque.

3°. Determinación del número de codos y carretes.

Cada tramo se compone de dos codos y un carrete, exceptuando el último tramo, que sale sin codo en tramo recto.

$$N^{\circ} \text{codos} = 2 \cdot N^{\circ} \text{tramos} - 2 \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{carretes} = N^{\circ} \text{tramos} - 1 \quad (7)$$

4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.

Conocido la longitud superficial equivalente de un codo de 90°, se puede determinar la longitud superficial de un codo cualquiera del serpentín, de la siguiente manera:

$$L_{\text{supf.codo}90^\circ}(\varnothing 1 \text{ in}) = 2 \cdot \pi \cdot \text{Radio}_{\text{codo}90^\circ} \quad (8)$$

$$L_{\text{supf.}\theta(N)} = \frac{\theta}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} \quad (9)$$

siendo “ θ ” un ángulo cualquiera, “ α ” o “ β ”, ángulo inicial (primer codo) y ángulo final (segundo codo) de un tramo respectivamente. Ambos se calculan con las expresiones siguientes:

$$\alpha_N = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_{N+1} - L_N)^2}} \right) \quad (10)$$

$$\beta_N = 180 - \alpha_{N-1} \quad (11)$$

Siendo:

L_{N+1} : longitud del tramo recto N+1

L_N : longitud del tramo recto N

5°. Cálculo de la longitud de los carretes

La longitud de los carretes se determina mediante la siguiente expresión:

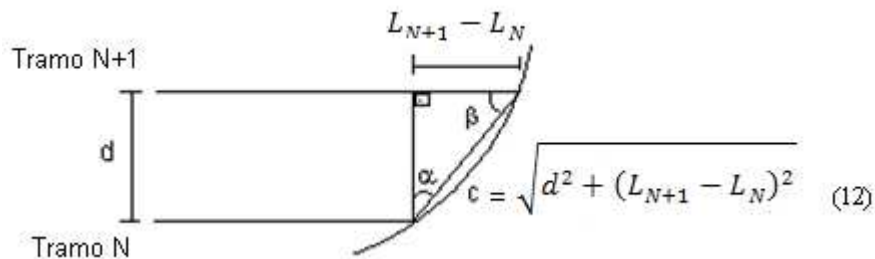


FIGURA A-II 3.4: LONGITUD DEL CARRETE

6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura.

Los tubos se compran normalmente por cañas, una caña es un tramo de tubo de 12 m. Si en serpentín diseñado existen tramos de más de 12 m, al menos, hay un cordón de soldadura más en ese tramo. A esto, hay que añadir, que en cada codo existen dos cordones de soldadura. El número de pulgadas de soldadura se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$N^{\circ}_{\text{Pulgadas de soldadura}} = \text{ENTERO}(\phi_S \cdot \pi \cdot (2 \cdot N^{\circ}\text{codos} + N^{\circ}\text{cordones})) + 1 \quad (13)$$

siendo el “N° cordones” el número de cordones de más en los tramos.

Decir que el número de pulgadas de soldadura, hace referencia al número de soldaduras que se han de realizar. Se establece un precio por soldadura realizada, de ahí a que su valor sea un número entero.

7°. Determinación de la longitud real del serpentín

La longitud real del serpentín será la suma de todos los tramos rectos calculados por el número de secciones en que se divide el serpentín, es decir:

$$L_S(\text{real}) = N^{\circ}\text{secciones} \cdot \sum (L_{\text{tramos rectos}} + L_{\text{codos}} + L_{\text{carretes}}) \quad (14)$$

8°. Cálculo de la distancia entre tramos rectos de tubos

Como bien se ha dicho en el punto 2°, se supone un valor de “d” y en este último paso se tantea hasta obtener un valor de longitud real del serpentín igual o mayor al teórico.

Es necesaria para su realización una hoja de cálculo.

3.2 Cálculo de la longitud del serpentín

Dependiendo del diámetro del serpentín (ϕ_S), se obtendrá diferente longitud.

Recordando que el área de intercambio requerida es 112,81 m² y sustituyendo los datos conocidos en la *Ecuación 4*, se obtienen los resultados de la *Tabla A-II 3.2*.

ϕ_s (in)	ϕ_s (mm)	Longitud teórica del serpentín (m)	N° Secciones iguales	Longitud teórica de una sección (m)
1	33,4	1.075,14	7	153,59
1 _{1/2}	48,3	743,47	5	148,69
2	60,3	595,52	4	148,88
3	88,9	403,93	3	134,64

TABLA A-II 3.2: DIÁMETRO DEL SERPENTÍN & LONGITUD.

Se opta por mantener prácticamente el mismo número de tramos en cada sección del serpentín, para cada uno de los casos a estudiar. De ello, la elección del número de secciones en que queda dividido el serpentín.

A continuación se procede a realizar los cálculos del diseño mecánico para cada uno de los casos a estudiar:

- ▶ Caso A : serpentín 1 in
- ▶ Caso B: serpentín 1_{1/2} in
- ▶ Caso C: serpentín 2 in
- ▶ Caso D: serpentín 3 in

3.3 Caso A: Serpentín 1 in de diámetro

Se parten de los siguientes datos iniciales:

- Diámetro nominal del serpentín, $\Phi_s = 33,4$ mm
- Radio del tanque, $r_{\text{Tanque}} = 10,97$ m; a este valor se le ha restado 30 mm estimados para el espesor de la virola.
- Radio de la circunferencia tangente (imaginaria), $r = 10,82$ m. Se determina considerando el diámetro externo del tanque menos 30 mm estimados para el espesor de la virola y el margen de separación existente (0,152 m) entre la pared del tanque y la circunferencia imaginaria.
- Margen, $w = 6$ in (0,152 m); es la separación existente entre la pared del tanque y la circunferencia imaginaria que envuelve a todo el serpentín.
- Radio de un codo largo de 90°, $r_{\text{codo}} = 0,038$ m; *Tabla 6 del Anexo VI* para 1 in de diámetro.
- Longitud del serpentín, $L_{S(1 \text{ in})} = 1.075,14$ m
- Número de secciones (1 in) = 7
- Longitud de cada sección del serpentín (1 in) = 153,60 m

Recordando la secuencia de cálculo:

1°. Cálculo de la longitud total del serpentín necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.

Este punto se ha realizado en el apartado 3.2 del presente anexo, obteniéndose el siguiente resultado.

ϕ_s (in)	ϕ_s (mm)	Longitud teórica del serpentín (m)	N° Secciones iguales	Longitud teórica de una sección (m)
1	33,4	1.075,14	7	153,59

TABLA A-II 3.3: LONGITUD TEÓRICA (1 IN)

2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.

La distancia “d” para 1 in de diámetro es de 3,085 m.

El número de tramos finalizará cuando el valor de la distancia a tabuladura tangente sea igual o menor al diámetro de la circunferencia imaginaria (21,636 m).

A continuación se demuestra el cálculo de los tres primeros tramos, posteriormente la *Tabla A-II 3.4*, muestra los resultados obtenidos.

Para determinar “dt” se emplea las ecuaciones de la *Tabla A-II 3.1*:

$$\text{Tramo1} \rightarrow dt_1 = a = 0,038 \text{ m}$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow dt_2 = a + d = dt_1 + d = 0,038 + 3,085 = 3,123 \text{ m}$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow dt_3 = a + 2d = dt_2 + d = 3,123 + 3,085 = 6,209 \text{ m}$$

$$\text{TramoN} \rightarrow dt_N = a + (N - 1)d = dt_{(N-1)} + d \leq 21,636 \text{ m}$$

Empleando la *Ecuación 5* de la *Figura A-II 3.3*.

$$\begin{aligned} \text{Tramo1} \rightarrow L_{Tr1} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_1}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 0,038}{10,818} \right) \right) = 1,814 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo2} \rightarrow L_{Tr2} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_2}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 3,123}{10,818} \right) \right) = 15,208 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo3} \rightarrow L_{Tr3} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_3}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 6,209}{10,818} \right) \right) = 19,573 \text{ m} \end{aligned}$$

Serpentín (1 in): Cálculo de “dt ” y “L Tramo recto”		
Tramos	dt (m)	L Tramo recto (m)
1	0,038	1,814
2	3,123	15,208
3	6,209	19,573
4	9,294	21,420
5	12,379	21,409
6	15,465	19,537
7	18,550	15,130
8	21,635	0,000
$\sum L_{\text{tramo recto}} = 113,184 \text{ m}$		

TABLA A-II 3.4: CÁLCULO DE LA LONGITUD DE TRAMO RECTO DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN DE 1 IN DE DIÁMETRO.

3°. Determinación del número de codos, carretes, cordones y pulgadas de soldadura.

Siendo el número de tramos de una sección para un serpentín de 1 in de diámetro, igual a 8, sustituyendo en las *Ecuaciones 6 y 7*, se obtienen:

$$N^{\circ} \text{codos} = 2 \cdot 8 - 2 = 14 \text{ codos}$$

$$N^{\circ} \text{carretes} = 8 - 1 = 7 \text{ carretes}$$

4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.

Al igual que antes, se realizan los cálculos para los primeros tramos y posteriormente se recogen los resultados obtenidos de todos los tramos que conforma una sección del serpentín en la *Tabla A-II 3.5*.

Tramo 1

- a) El Tramo 1 esta formado por un codo de 90°. Sustituyendo datos en la *Ecuación 8*, se determina longitud superficial equivalente de un codo de 90°. Para los siguientes tramos ha de emplearse la *Ecuación 11*.

$$L_{\text{supf.codo}90^\circ}(\emptyset 1 \text{ in}) = 2 \cdot \pi \cdot \text{Radio}_{\text{codo}90^\circ} = 2 \cdot \pi \cdot 0,038 \text{ m} = 0,239 \text{ m}$$

- b) Para determinar el ángulo del segundo codo del primer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_1 = \text{arsen} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_2 - L_1)^2}} \right) = \text{arsen} \left(\frac{3,085}{\sqrt{(3,085)^2 + (15,208 - 1,814)^2}} \right) = 12,97^\circ$$

- c) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\alpha_1} = \frac{\alpha_1}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{12,97}{90} \cdot 0,239 \text{ m} = 0,034 \text{ m}$$

Tramo 2

- a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_2 = 180 - \alpha_1 = 180 - 12,97 = 167,03^\circ$$

- b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\beta_2} = \frac{\beta_2}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{167,03}{90} \cdot 0,239 \text{ m} = 0,444 \text{ m}$$

- c) Para determinar el ángulo del segundo codo del segundo tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_2 = \text{arsen} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_3 - L_2)^2}} \right) = \text{arsen} \left(\frac{3,085}{\sqrt{(3,085)^2 + (19,573 - 15,208)^2}} \right) = 35,25^\circ$$

- d) Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\alpha_2} = \frac{\alpha_2}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{35,25}{90} \cdot 0,239 \text{ m} = 0,094 \text{ m}$$

Tramo 3

a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_3 = 180 - \alpha_2 = 180 - 35,25 = 144,75^\circ$$

b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\beta_3} = \frac{\beta_3}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{144,75}{90} \cdot 0,239 \text{ m} = 0,385 \text{ m}$$

c) Para determinar el ángulo del segundo codo del tercer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_3 = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_4 - L_3)^2}} \right) = \arcsen \left(\frac{3,085}{\sqrt{(3,085)^2 + (21,420 - 19,573)^2}} \right) = 59,10^\circ$$

d) Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\alpha_3} = \frac{\alpha_3}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{59,10}{90} \cdot 0,239 \text{ m} = 0,157 \text{ m}$$

A continuación se muestra la *Tabla A-II 3.5* con los resultados.

Serpentín (1 in): Cálculo de ángulos y “L _{supf.Nº} ”				
Tramo	Ángulo B (°)	L _{supf.β} (m)	Ángulo α (°)	L _{supf.α} (m)
1	90,00	0,239	12,97	0,034
2	167,03	0,444	35,25	0,094
3	144,75	0,385	59,10	0,157
4	120,90	0,322	90,20	0,240
5	89,80	0,239	121,24	0,322
6	58,76	0,156	145,00	0,386
7	35,00	0,093	168,47	0,448
$\sum L_{\text{supf.codos}} = 3,560 \text{ m}$				

TABLA A-II 3.5: CÁLCULO DE ÁNGULOS Y LONGITUDES SUPERFICIALES DE LOS MISMOs, SECCIÓN SERPENTÍN 1 IN.

5°. Cálculo de la longitud de los carretes

Se realizan los cálculos para los primeros tramos y posteriormente se recogen los resultados obtenidos en la *Tabla A-II 3.6*. Para determinar la longitud de los carretes, se

toma la Ecuación 12.

$$\text{Tramo1} \rightarrow c = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + d^2} = \sqrt{(15,208 - 1,814)^2 + 3,085^2} = 13,744 \text{ m}$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow c = \sqrt{(L_3 - L_2)^2 + d^2} = \sqrt{(19,573 - 15,208)^2 + 3,085^2} = 5,346 \text{ m}$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow c = \sqrt{(L_4 - L_3)^2 + d^2} = \sqrt{(21,420 - 19,573)^2 + 3,085^2} = 3,596 \text{ m}$$

Serpentín (1 in): Cálculo de “L _{carrete} ”		
Tramo	L tramo recto (m)	L _{carrete} (m)
1	1,814	13,744
2	15,208	5,346
3	19,573	3,596
4	21,420	3,085
5	21,409	3,608
6	19,537	5,380
7	15,130	15,442
$\Sigma L_{\text{carrete}} = 50,201 \text{ m}$		

TABLA A-II 3.6: CÁLCULO DE LONGITUD DE CARRETE DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 1 IN.

6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura.

De la tabla de resultado anterior (*Tabla A-II 3.6*), se observa como desde el tramo 2 al 7, ambos inclusive, la longitud de tramo recto es superior a 12 m, al igual que el carrete del tramo 1 y del tramo 7, es decir que hay 8 cordones de soldadura de más.

Sustituyendo en la Ecuación 13:

$$\begin{aligned}
 N^{\circ}_{\text{Pulgadas de soldadura}} &= \left(0,033 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ in}}{0,0254 \text{ m}} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 14 + 8) \right) + 1 \\
 &= 147 \text{ pulgadas de soldadura}
 \end{aligned}$$

La *Tabla A-II 3.7*, muestra los datos obtenidos en este punto

Serpentín de 1 in	
Número de tramos	8
Número de codos	14
Número de carretes	7
Número de cordones	8
Número de pulgadas de soldadura	147

TABLA A-II 3.7: NÚMERO DE CODOS, CARRETES, CORDONES Y PULGADAS DE SOLDADURA, SECCIÓN SERPENTÍN 1 IN DE DIÁMETRO.

7°. Determinación de la longitud real del serpentín

Los datos obtenidos hasta el momento se muestran en la *Tabla A-II 3.8*. Empleando la *Ecuación 14*, se determina la longitud real de una sección del serpentín.

Serpentín 1 in			
Longitud total de tramos de una sección(m)	Longitud total de codos de una sección (m)	Longitud total de carretes de una sección (m)	Longitud real de una sección (m)
113,184	3,560	50,201	166,945

TABLA A-II 3.8: LONGITUD REAL DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN

$$L_s(real) = 7 \cdot \sum (113,184 + 3,560 + 50,201) = 1.168,615 \text{ m}$$

La Tabla A-II 3.9 muestra las longitudes reales del serpentín.

Serpentín 1 in			
Longitud total de tramos del serpentín (m)	Longitud total de codos del serpentín (m)	Longitud total de carretes del serpentín (m)	Longitud real del serpentín (m)
792,290	24,920	351,407	1.168,615

TABLA A-II 3.9: LONGITUD REAL DEL SERPENTÍN 1 IN.

Con todos los diámetros de serpentín se procederá de la misma forma, teniendo en cuenta los datos iniciales que muestra la *Tabla A-II 3.10*.

θ_s		Radio <small>codo largo 90°</small>	d	L _{total} Serpentin	N° de secciones
in	mm	m	m	m	Unidad
1	33,4	0,038	3,085	1075,14	7
1 ½	48,3	0,057	3,596	743,47	5
2	60,3	0,076	3,593	595,52	4
3	88,9	0,114	4,304	403,93	3

TABLA A-II 3.10: DATOS INICIALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SERPENTÍN 1 IN

3.4 Caso B: Serpentin 1 ½ in de diámetro

1°. Cálculo de la longitud total del serpentín necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.

Este punto se ha realizado en el apartado 3.2 del presente anexo, obteniéndose el siguiente resultado.

θ_s (in)	θ_s (mm)	Longitud teórica del serpentin (m)	N° Secciones iguales	Longitud teórica de una sección (m)
1 ½	48,3	743,47	5	150,175

TABLA A-II 3.11: LONGITUD TEÓRICA (1 ½ IN)

2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.

La distancia “d” para 1 ½ in de diámetro es de 3,596 m.

El número de tramos finalizará cuando el valor de la distancia a tabuladura tangente sea igual o menor al diámetro de la circunferencia imaginaria (21,636 m).

A continuación se demuestra el cálculo de los tres primeros tramos, posteriormente la *Tabla A-II 3.12*, muestra los resultados obtenidos.

Para determinar “dt” se emplea las ecuaciones de la *Tabla A-II 3.1*:

$$\text{Tramo1} \rightarrow dt_1 = a = 0,057 \text{ m}$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow dt_2 = a + d = dt_1 + d = 0,057 + 3,596 = 3,654 \text{ m}$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow dt_3 = a + 2d = dt_2 + d = 3,654 + 3,596 = 7,259 \text{ m}$$

$$\text{Tramo } N \rightarrow dt_N = a + (N - 1)d = dt_{(N-1)} + d \leq 21,636 \text{ m}$$

Empleando la Ecuación 5 de la Figura A-II 3.3.

$$\begin{aligned} \text{Tramo } 1 \rightarrow L_{Tr1} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_1}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 0,057}{10,818} \right) \right) = 2,222 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo } 2 \rightarrow L_{Tr2} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_2}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 3,654}{10,818} \right) \right) = 16,211 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo } 3 \rightarrow L_{Tr3} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_3}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 7,250}{10,818} \right) \right) = 20,425 \text{ m} \end{aligned}$$

Serpentín (1½ in): Cálculo de “dt” y “L tramo recto”		
Tramo	dt (m)	L tramo recto (m)
1	0,057	2,222
2	3,654	16,211
3	7,250	20,425
4	10,846	21,635
5	14,443	20,384
6	18,039	16,109
7	21,635	0,000
$\sum L_{\text{tramo recto}} = 95,875 \text{ m}$		

TABLA A-II 3.12: CÁLCULO DE LA LONGITUD DE TRAMO RECTO DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN DE 1 1/2 IN DE DIÁMETRO

3°. Determinación del número de codos y carretes.

Siendo el número de tramos de una sección para un serpentín de 1 in de diámetro, igual a 8, sustituyendo en las Ecuaciones 6 y 7, se obtienen:

$$N^{\circ} \text{codos} = 2 \cdot 7 - 2 = 12 \text{ codos}$$

$$N^{\circ} \text{carretes} = 7 - 1 = 6 \text{ carretes}$$

4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.

Se realizan los cálculos para los primeros tramos y posteriormente se recogen los resultados obtenidos de todos los tramos que conforma una sección del serpentín en la *Tabla A-II 3.13*.

Tramo 1

- a) El Tramo 1 esta formado por un codo de 90°. Sustituyendo datos en la *Ecuación 8*, se determina longitud superficial equivalente de un codo de 90°. Para los siguientes tramos ha de emplearse la *Ecuación 11*.

$$L_{\text{supf.codo}90^\circ}(\emptyset 1_{1/2} \text{ in}) = 2 \cdot \pi \cdot \text{Radio}_{\text{codo}90^\circ} = 2 \cdot \pi \cdot 0,057 \text{ m} = 0,359 \text{ m}$$

- b) Para determinar el ángulo del segundo codo del primer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_1 = \text{arsen} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_2 - L_1)^2}} \right) = \text{arsen} \left(\frac{3,596}{\sqrt{(3,596)^2 + (16,211 - 2,222)^2}} \right) = 14,42^\circ$$

- c) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\alpha_1} = \frac{\alpha_1}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{14,42}{90} \cdot 0,359 \text{ m} = 0,058 \text{ m}$$

Tramo 2

- a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_2 = 180 - \alpha_1 = 180 - 14,42 = 165,58^\circ$$

- b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\beta_2} = \frac{\beta_2}{90} \cdot L_{\text{supf.codo}90^\circ} = \frac{165,58}{90} \cdot 0,359 \text{ m} = 0,661 \text{ m}$$

- c) Para determinar el ángulo del segundo codo del segundo tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_2 = \text{arsen} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_3 - L_2)^2}} \right) = \text{arsen} \left(\frac{3,596}{\sqrt{(3,596)^2 + (20,425 - 16,211)^2}} \right) = 40,48^\circ$$

d) Sustituyendo en la Ecuación 9:

$$L_{supf.\alpha 2} = \frac{\alpha_2}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{40,48}{90} \cdot 0,359 \text{ m} = 0,162 \text{ m}$$

Tramo 3

a) Empleando la Ecuación 11:

$$\beta_3 = 180 - \alpha_2 = 180 - 40,48 = 139,52^\circ$$

b) Aplicando la Ecuación 9:

$$L_{supf.\beta 3} = \frac{\beta_3}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{139,52}{90} \cdot 0,359 \text{ m} = 0,557 \text{ m}$$

c) Para determinar el ángulo del segundo codo del tercer tramo se emplea la Ecuación 10:

$$\alpha_3 = \text{arsen} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_4 - L_3)^2}} \right) = \text{arsen} \left(\frac{3,596}{\sqrt{(3,596)^2 + (21,635 - 20,425)^2}} \right) = 71,40^\circ$$

d) Sustituyendo en la Ecuación 9:

$$L_{supf.\alpha 3} = \frac{\alpha_3}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{71,40}{90} \cdot 0,359 \text{ m} = 0,285 \text{ m}$$

A continuación se muestra la *Tabla A-II 3.13* con los resultados.

Serpentín (1 _{1/2} in): Cálculo de ángulos y “L _{supf.N°} ”				
Tramo	Ángulo β (°)	L _{supf.β} (m)	Ángulo α (°)	L _{supf.α} (m)
1	90,00	0,359	14,42	0,058
2	165,58	0,661	40,48	0,162
3	139,52	0,557	71,40	0,285
4	108,60	0,434	109,18	0,436
5	70,82	0,283	139,93	0,559
6	40,07	0,160	167,41	0,669
Σ L _{supf.codos} = 4,622 m				

TABLA A-II 3.13: CÁLCULO DE ÁNGULOS Y LONGITUDES SUPERFICIALES DE LOS MISMOs, SECCIÓN SERPENTÍN 1 1/2 IN.

5°. Cálculo de la longitud de los carretes

Para determinar la longitud de los carretes, se toma la *Ecuación 12*. Se recogen los resultados obtenidos en la *Tabla A-II 3.14*.

$$\text{Tramo1} \rightarrow c = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + d^2} = \sqrt{(16,211 - 2,222)^2 + 3,596^2} = 14,444 \text{ m}$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow c = \sqrt{(L_3 - L_2)^2 + d^2} = \sqrt{(20,425 - 16,211)^2 + 3,596^2} = 5,540 \text{ m}$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow c = \sqrt{(L_4 - L_3)^2 + d^2} = \sqrt{(21,635 - 20,425)^2 + 3,596^2} = 3,795 \text{ m}$$

Serpentín (1½ in): Cálculo de “L _{carrete} ”		
Tramos	L tramo recto (m)	L _{carrete} (m)
1	2,222	14,444
2	16,211	5,540
3	20,425	3,795
4	21,635	3,808
5	20,384	5,587
6	16,109	16,505
Σ L _{carrete} = 49,678 m		

TABLA A-II 3.14: CÁLCULO DE LONGITUD DE CARRETE DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 1½ IN.

6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura.

De la tabla de resultado anterior (*Tabla A-II 3.14*), se observa como desde el tramo 2 al 6, ambos inclusive, la longitud de tramo recto es superior a 12 m, al igual que el carrete del tramo 1 y del tramo 6, es decir que hay 7 cordones de soldadura de más.

Sustituyendo en la *Ecuación 13*:

$$\begin{aligned}
 N^{\circ} \text{Pulgadas de soldadura} &= \left(0,0483 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ in}}{0,0254 \text{ m}} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 12 + 7) \right) + 1 \\
 &= 186 \text{ pulgadas de soldadura}
 \end{aligned}$$

Serpentín de 1 ½ in	
Número de tramos	7
Número de codos	12
Número de carretes	6
Número de cordones	7
Número de pulgadas de soldadura	186

TABLA A-II 3.15: NÚMERO DE CODOS, CARRETES, CORDONES Y PULGADAS DE SOLDADURA, SECCIÓN SERPENTÍN 1 1/2 IN DE DIÁMETRO.

7°. Determinación de la longitud real del serpentín

Los datos obtenidos hasta el momento se muestran en la *Tabla A-II 3.16*. Empleando la *Ecuación 14*, se determina la longitud real de una sección del serpentín.

Serpentín 1 ½ in			
Longitud total de tramos de una sección(m)	Longitud total de codos de una sección (m)	Longitud total de carretes de una sección (m)	Longitud real de una sección (m)
95,875	4,622	49,678	150,175

TABLA A-II 3.16: LONGITUD REAL DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 1 1/2 IN.

$$L_s(real) = 5 \cdot \sum (95,875 + 4,622 + 49,678) = 750,875 \text{ m}$$

La Tabla A-II 3.17 muestra las longitudes reales del serpentín.

Serpentín 1 ½ in			
Longitud total de tramos del serpentín (m)	Longitud total de codos del serpentín (m)	Longitud total de carretes del serpentín (m)	Longitud real del serpentín (m)
479,375	23,110	248,390	750,875

TABLA A-II 3.17: LONGITUD REAL DEL SERPENTÍN 1 1/2 IN.

3.5 Caso C: Serpentín 2 in de diámetro

1°. Cálculo de la longitud total del serpentín necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.

Este punto se ha realizado en el apartado 3.2 del presente anexo, obteniéndose el siguiente resultado.

\varnothing_s (in)	\varnothing_s (mm)	Longitud teórica del serpentín (m)	N° Secciones iguales	Longitud teórica de una sección (m)
2	60,3	595,52	4	148,880

TABLA A-II 3.18: LONGITUD TEÓRICA (2 IN)

2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.

La distancia “d” para 2 in de diámetro es de 3,593 m.

El número de tramos finalizará cuando el valor de la distancia a tabuladura tangente sea igual o menor al diámetro de la circunferencia imaginaria (21,636 m).

A continuación se demuestra el cálculo de los tres primeros tramos, posteriormente la *Tabla A-II 3.19*, muestra los resultados obtenidos.

Para determinar “dt” se emplea las ecuaciones de la *Tabla A-II 3.10*:

$$\text{Tramo1} \rightarrow dt_1 = a = 0,076m$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow dt_2 = a + d = dt_1 + d = 0,076 + 3,593 = 3,669 m$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow dt_3 = a + 2d = dt_2 + d = 3,669 + 3,593 = 7,262 m$$

$$\text{TramoN} \rightarrow dt_N = a + (N - 1)d = dt_{(N-1)} + d \leq 21,636 m$$

Empleando la *Ecuación 5* de la *Figura A-II 3.3*.

$$\begin{aligned} \text{Tramo1} \rightarrow L_{Tr1} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_1}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 0,076}{10,818} \right) \right) = 2,563 m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo2} \rightarrow L_{Tr2} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_2}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 3,669}{10,818} \right) \right) = 16,239 m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tramo 3} \rightarrow L_{Tr3} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_3}{r} \right) \right) \\
 &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 7,262}{10,818} \right) \right) = 20,433 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Serpentín (2 in): Cálculo de “dt” y “L tramo recto”		
Tramo	dt (m)	L tramo recto (m)
1	0,076	2,563
2	3,669	16,239
3	7,262	20,433
4	10,856	21,635
5	14,449	20,380
6	18,042	16,104
7	21,635	0,186
$\Sigma L_{\text{tramo recto}} = 96,258 \text{ m}$		

TABLA A-II 3.19: CÁLCULO DE LA LONGITUD DE TRAMO RECTO DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN DE 2 IN DE DIÁMETRO

3°. Determinación del número de codos y carretes

Siendo el número de tramos de una sección para un serpentín de 2 in de diámetro, igual a 7, sustituyendo en las Ecuaciones 6 y 7, se obtienen:

$$N^{\circ} \text{codos} = 2 \cdot 7 - 2 = 12 \text{ codos}$$

$$N^{\circ} \text{carretes} = 7 - 1 = 6 \text{ carretes}$$

4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.

Al igual que antes, se realizan los cálculos para los primeros tramos y posteriormente se recogen los resultados obtenidos de todos los tramos que conforma una sección del serpentín en la Tabla A-II 3.20.

Tramo 1

- a) El Tramo 1 esta formado por un codo de 90°. Sustituyendo datos en la Ecuación 8, se determina longitud superficial equivalente de un codo de 90°. Para los siguientes tramos ha de emplearse la Ecuación 11.

$$L_{\text{supf.codo90}^{\circ}}(\varnothing 2 \text{ in}) = 2 \cdot \pi \cdot \text{Radio}_{\text{codo90}^{\circ}} = 2 \cdot \pi \cdot 0,076 \text{ m} = 0,479 \text{ m}$$

- b) Para determinar el ángulo del segundo codo del primer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_1 = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_2 - L_1)^2}} \right) = \arcsen \left(\frac{3,593}{\sqrt{(3,593)^2 + (16,239 - 2,563)^2}} \right) = 14,72^\circ$$

- c) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\alpha_1} = \frac{\alpha_1}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{14,72}{90} \cdot 0,479 m = 0,078 m$$

Tramo 2

- a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_2 = 180 - \alpha_1 = 180 - 14,72 = 165,28^\circ$$

- b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\beta_2} = \frac{\beta_2}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{165,28}{90} \cdot 0,479 m = 0,879 m$$

- c) Para determinar el ángulo del segundo codo del segundo tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_2 = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_3 - L_2)^2}} \right) = \arcsen \left(\frac{3,593}{\sqrt{(3,593)^2 + (20,433 - 16,239)^2}} \right) = 40,58^\circ$$

- d) Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\alpha_2} = \frac{\alpha_2}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{40,58}{90} \cdot 0,479 m = 0,216 m$$

Tramo 3

- a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_3 = 180 - \alpha_2 = 180 - 40,58 = 139,42^\circ$$

- b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\beta_3} = \frac{\beta_3}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{139,42}{90} \cdot 0,479 m = 0,742 m$$

- c) Para determinar el ángulo del segundo codo del tercer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_3 = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_4 - L_3)^2}} \right) = \arcsen \left(\frac{3,593}{\sqrt{(3,593)^2 + (21,635 - 20,433)^2}} \right) = 71,51^\circ$$

- d) Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\alpha 3} = \frac{\alpha_3}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{71,51}{90} \cdot 0,479m = 0,380m$$

A continuación se muestra la *Tabla A-II 3.20* con los resultados.

Serpentín (2 in): Cálculo de ángulos y “L _{supf.Nº} ”				
Tramo	Ángulo β (°)	L _{supf.β} (m)	Ángulo α (°)	L _{supf.α} (m)
1	90,00	0,479	14,72	0,078
2	165,28	0,879	40,58	0,216
3	139,42	0,742	71,51	0,380
4	108,49	0,577	109,25	0,581
5	70,75	0,376	139,96	0,745
6	40,04	0,213	167,28	0,890
Σ L _{supf.codos} = 6,157 m				

TABLA A-II 3.20: CÁLCULO DE ÁNGULOS Y LONGITUDES SUPERFICIALES DE LOS MISMOs, SECCIÓN SERPENTÍN 2 IN.

5°. Cálculo de la longitud de los carretes

Para determinar la longitud de los carretes, se toma la *Ecuación 12*. se recogen los resultados obtenidos en la *Tabla A-II 3.21*.

$$\text{Tramo1} \rightarrow c = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + d^2} = \sqrt{(16,239 - 2,563)^2 + 3,593^2} = 14,139m$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow c = \sqrt{(L_3 - L_2)^2 + d^2} = \sqrt{(20,433 - 16,239)^2 + 3,593^2} = 5,523m$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow c = \sqrt{(L_4 - L_3)^2 + d^2} = \sqrt{(21,635 - 20,433)^2 + 3,593^2} = 3,789m$$

Serpentín (2 in): Cálculo de “L _{carrete} ”		
Tramos	L _{tramo recto} (m)	L _{carrete} (m)
1	2,563	14,139
2	16,239	5,523
3	20,433	3,789
4	21,635	3,806
5	20,380	5,585
6	16,104	16,318
7	0,186	-
$\Sigma L_{carrete} = 49,161 \text{ m}$		

TABLA A-II 3.21: CÁLCULO DE LONGITUD DE CARRETE DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 2 IN.

6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura

De la tabla de resultado anterior (*Tabla A-II 3.21*), se observa como desde el tramo 2 al 5, ambos inclusive, la longitud de tramo recto es superior a 12 m, además los carretes del tramo 1 y 6, es decir que hay 6 cordones de más.

Sustituyendo en la *Ecuación 13*:

$$N^{\circ}_{\text{Pulgadas de soldadura}} = \left(0,0603 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ in}}{0,0254 \text{ m}} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 12 + 6) \right) + 1$$

$$= 286 \text{ pulgadas de soldadura}$$

Serpentín de 2 in	
Número de tramos	7
Número de codos	12
Número de carretes	6
Número de cordones	6
Número de pulgadas de soldadura	286

TABLA A-II 3.22: NÚMERO DE CODOS, CARRETES, CORDONES Y PULGADAS DE SOLDADURA, SECCIÓN SERPENTÍN 2 IN DE DIÁMETRO.

7°. Determinación de la longitud real del serpentín

Los datos obtenidos hasta el momento se muestran en la *Tabla A-II 3.23*. Empleando la *Ecuación 14*, se determina la longitud real de una sección del serpentín.

Serpentín 2 in			
Longitud total de tramos de una sección(m)	Longitud total de codos de una sección (m)	Longitud total de carretes de una sección (m)	Longitud real de una sección (m)
96,258	6,157	49,161	151,576

TABLA A-II 3.23: LONGITUD REAL DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 2 IN.

$$L_s(real) = 4 \cdot \sum (96,258 + 6,157 + 49,161) = 606,304 \text{ m}$$

La Tabla A-II 3.24 muestra las longitudes reales del serpentín.

Serpentín 2 in			
Longitud total de tramos del serpentín (m)	Longitud total de codos del serpentín (m)	Longitud total de carretes del serpentín (m)	Longitud real del serpentín (m)
385,032	24,628	196,644	606,304

TABLA A-II 3.24: LONGITUD REAL DEL SERPENTÍN 2 IN.

3.6 Caso D: Serpentín 3 in de diámetro

1°. Cálculo de la longitud total del serpentín necesaria y de cada sección del mismo en función del área de transmisión requerida.

Este punto se ha realizado en el apartado 3.2 del presente anexo, obteniéndose el siguiente resultado.

θ_s (in)	θ_s (mm)	Longitud teórica del serpentín (m)	N° Secciones iguales	Longitud teórica de una sección (m)
3	88,9	403,93	3	134,643

TABLA A-II 3.25: LONGITUD TEÓRICA (1 IN)

2°. Determinación del número de tramos y cálculo de la longitud de tramo recto.

La distancia “d” para 3 in de diámetro es de 4,304 m.

El número de tramos finalizará cuando el valor de la distancia a tabuladura tangente sea igual o menor al diámetro de la circunferencia imaginaria (21,636 m).

A continuación se demuestra el cálculo de los tres primeros tramos,

posteriormente la *Tabla A-II 3.26*, muestra los resultados obtenidos.

Para determinar “dt” se emplea las ecuaciones de la *Tabla A-II 3.1*:

$$\text{Tramo1} \rightarrow dt_1 = a = 0,114 \text{ m}$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow dt_2 = a + d = dt_1 + d = 0,114 + 4,304 = 4,418 \text{ m}$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow dt_3 = a + 2d = dt_2 + d = 4,418 + 4,304 = 8,723 \text{ m}$$

$$\text{TramoN} \rightarrow dt_N = a + (N - 1)d = dt_{(N-1)} + d \leq 21,636 \text{ m}$$

Empleando la *Ecuación 5* de la *Figura A-II 3.3*.

$$\begin{aligned} \text{Tramo1} \rightarrow L_{Tr1} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_1}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 0,114}{10,818} \right) \right) = 3,137 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo2} \rightarrow L_{Tr2} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_2}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 4,418}{10,818} \right) \right) = 17,444 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tramo3} \rightarrow L_{Tr3} &= 2r \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{r - dt_3}{r} \right) \right) \\ &= 2 \cdot 10,818 \cdot \text{sen} \left(\arccos \left(\frac{10,818 - 8,723}{10,818} \right) \right) = 21,226 \text{ m} \end{aligned}$$

Serpentín (3 in): Cálculo de “dt” y “L tramo recto”		
Tramo	dt (m)	L tramo recto (m)
1	0,114	3,137
2	4,418	17,444
3	8,723	21,226
4	13,027	21,179
5	17,331	17,274
6	21,635	0,000
$\Sigma L_{\text{tramo recto}} = 78,691 \text{ m}$		

TABLA A-II 3.26: CÁLCULO DE LA LONGITUD DE TRAMO RECTO DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN DE 3 IN DE DIÁMETRO.

3°. Determinación del número de codos, carretes, cordones y pulgadas de soldadura.

Siendo el número de tramos de una sección para un serpentín de 3 in de diámetro, igual a 6, sustituyendo en las *Ecuaciones 6 y 7*, se obtienen:

$$N^{\circ} \text{codos} = 2 \cdot 6 - 2 = 10 \text{ codos}$$

$$N^{\circ} \text{carretes} = 6 - 1 = 5 \text{ carretes}$$

4°. Determinación de los ángulos de los codos y la longitud superficial equivalente de los mismos.

Se realizan los cálculos para los primeros tramos y posteriormente se recogen los resultados obtenidos de todos los tramos que conforma una sección del serpentín en la *Tabla A-II 3.27*.

Tramo 1

- a) El Tramo 1 esta formado por un codo de 90°. Sustituyendo datos en la *Ecuación 8*, se determina longitud superficial equivalente de un codo de 90°. Para los siguientes tramos ha de emplearse la *Ecuación 11*.

$$L_{\text{supf.codo90}^{\circ}}(\emptyset 3 \text{ in}) = 2 \cdot \pi \cdot \text{Radio}_{\text{codo90}^{\circ}} = 2 \cdot \pi \cdot 0,114 \text{ m} = 0,718 \text{ m}$$

- b) Para determinar el ángulo del segundo codo del primer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_1 = \text{arsen} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_2 - L_1)^2}} \right) = \text{arsen} \left(\frac{4,304}{\sqrt{(4,304)^2 + (17,444 - 3,137)^2}} \right) = 16,74^{\circ}$$

- c) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{\text{supf.}\alpha_1} = \frac{\alpha_1}{90} \cdot L_{\text{supf.codo90}^{\circ}} = \frac{16,74}{90} \cdot 0,718 \text{ m} = 0,134 \text{ m}$$

Tramo 2

- a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_2 = 180 - \alpha_1 = 180 - 16,74 = 163,26^{\circ}$$

- b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\beta 2} = \frac{\beta_2}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{163,26}{90} \cdot 0,718 \text{ m} = 1,303 \text{ m}$$

- c) Para determinar el ángulo del segundo codo del segundo tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_2 = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_3 - L_2)^2}} \right) = \arcsen \left(\frac{4,304}{\sqrt{(4,304)^2 + (21,226 - 17,444)^2}} \right) = 48,70^\circ$$

- d) Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\alpha 2} = \frac{\alpha_2}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{48,70}{90} \cdot 0,718 \text{ m} = 0,389 \text{ m}$$

Tramo 3

- a) Empleando la *Ecuación 11*:

$$\beta_3 = 180 - \alpha_2 = 180 - 48,70 = 131,30^\circ$$

- b) Aplicando la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\beta 3} = \frac{\beta_3}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{131,30}{90} \cdot 0,718 \text{ m} = 1,048 \text{ m}$$

- c) Para determinar el ángulo del segundo codo del tercer tramo se emplea la *Ecuación 10*:

$$\alpha_3 = \arcsen \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + (L_4 - L_3)^2}} \right) = \arcsen \left(\frac{4,304}{\sqrt{(4,304)^2 + (21,179 - 21,226)^2}} \right) = 90,62^\circ$$

- d) Sustituyendo en la *Ecuación 9*:

$$L_{supf.\alpha 3} = \frac{\alpha_3}{90} \cdot L_{supf.codo90^\circ} = \frac{90,62}{90} \cdot 0,718 \text{ m} = 0,723 \text{ m}$$

A continuación se muestra la *Tabla A-II 3.27* con los resultados.

Serpentín (3 in): Cálculo de ángulos y “L _{supf.N°} ”				
Tramo	Ángulo β (°)	L _{supf.β} (m)	Ángulo α (°)	L _{supf.α} (m)
1	90,00	0,718	16,74	0,134
2	163,26	1,303	48,70	0,389
3	131,30	1,048	90,62	0,723
4	89,38	0,713	132,22	1,055
5	47,78	0,381	166,01	1,325
Σ L _{supf.codos} = 7,788 m				

TABLA A-II 3.27: CÁLCULO DE ÁNGULOS Y LONGITUDES SUPERFICIALES DE LOS MISMOs, SECCIÓN SERPENTÍN 3 IN.

5°. Cálculo de la longitud de los carretes

Para determinar la longitud de los carretes, se toma la *Ecuación 12*. Se recogen los resultados obtenidos en la *Tabla A-II 3.28*.

$$\text{Tramo1} \rightarrow c = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + d^2} = \sqrt{(17,444 - 3,137)^2 + 4,304^2} = 14,940 \text{ m}$$

$$\text{Tramo2} \rightarrow c = \sqrt{(L_3 - L_2)^2 + d^2} = \sqrt{(21,226 - 17,444)^2 + 4,304^2} = 5,730 \text{ m}$$

$$\text{Tramo3} \rightarrow c = \sqrt{(L_4 - L_3)^2 + d^2} = \sqrt{(21,179 - 21,226)^2 + 4,304^2} = 4,304 \text{ m}$$

Serpentín (3 in): Cálculo de “L _{carrete} ”		
Tramos	L _{tramo recto} (m)	L _{carrete} (m)
1	3,137	14,940
2	17,444	5,730
3	21,226	4,304
4	21,179	5,812
5	17,274	17,802
Σ L _{carrete} = 48,588 m		

TABLA A-II 3.28: CÁLCULO DE LONGITUD DE CARRETE DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 3 IN.

6°. Determinación del número de cordones y pulgadas de soldadura

De la tabla de resultado anterior (*Tabla A-II 3.28*), se observa como desde el tramo 2 al 5, ambos inclusive, la longitud de tramo recto es superior a 12 m, y además, los carretes del tramo 1 y tramo 5, es decir que hay 6 cordones de más.

Sustituyendo en la *Ecuación 13*:

$$N^{\circ}_{\text{Pulgadas de soldadura}} = \left(0,0889 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ in}}{0,0254 \text{ m}} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 10 + 6) \right) + 1$$

$$= 286 \text{ pulgadas de soldadura}$$

Serpentín de 3 in	
Número de tramos	6
Número de codos	10
Número de carretes	5
Número de cordones	6
Número de pulgadas de soldadura	286

TABLA A-II 3.29: NÚMERO DE CODOS, CARRETES, CORDONES Y PULGADAS DE SOLDADURA, SECCIÓN SERPENTÍN 3 IN DE DIÁMETRO.

7°. Determinación de la longitud real del serpentín

Los datos obtenidos hasta el momento se muestran en la *Tabla A-II 3.30*. Empleando la *Ecuación 14*, se determina la longitud real de una sección del serpentín.

Serpentín 3 in			
Longitud total de tramos de una sección (m)	Longitud total de codos de una sección (m)	Longitud total de carretes de una sección (m)	Longitud real de una sección (m)
78,691	7,788	48,588	135,067

TABLA A-II 3.30: LONGITUD REAL DE UNA SECCIÓN DEL SERPENTÍN 3 IN.

$$L_S(\text{real}) = 3 \cdot \sum (78,691 + 7,788 + 48,588) = 405,201 \text{ m}$$

La Tabla A-II 3.31 muestra las longitudes reales del serpentín.

Serpentín 3 in			
Longitud total de tramos del serpentín (m)	Longitud total de codos del serpentín (m)	Longitud total de carretes del serpentín (m)	Longitud real del serpentín (m)
236,073	23,364	145,764	405,201

TABLA A-II 3.31: LONGITUD REAL DEL SERPENTÍN 3 IN.

3.7 Resultados generales

La *Tabla A-II 3.32*, muestra los resultados más generales obtenidos en el diseño mecánico.

Diámetro de serpentín (in)	Longitud total de una sección (m)	Nº de secciones	Nº Codos	Nº Tramos	Nº Pulgadas de soldadura	Longitud total del serpentín (m)
1	166,945	7	14	8	147	1168,615
1 ½	150,175	5	12	7	186	750,875
2	151,576	4	12	7	232	606,304
3	135,067	3	10	6	286	405,201

TABLA A-II 3.32: TABLA DE RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO DEL SERPENTÍN.

Como se puede comprobar, a medida que aumenta el diámetro del serpentín, menos longitud del mismo requerimos, por lo que a su vez menos tramos, menos números de codos y por el contrario más pulgadas de soldadura.

4 PÉRDIDA DE CARGA EN SERPENTÍN

Se procede a realizar los cálculos para hallar la pérdida de presión a través del serpentín para cada uno de los casos a estudiar:

- ▶ Caso A : serpentín 1 in
- ▶ Caso B: serpentín 1 1/2 in
- ▶ Caso C: serpentín 2 in
- ▶ Caso D: serpentín 3 in

La pérdida de presión se determina mediante la siguiente expresión [2]:

$$\Delta P_{\text{serpentín}} = \frac{0,6253 \cdot K \cdot W^2}{\rho \cdot d^4} \quad (15)$$

donde:

K: coeficiente de resistencia total, suma del coeficiente de resistencia para tubería recta y coeficiente de resistencia para curvas de 90°, adimensional.

ρ : densidad del vapor en kilogramos metro cúbico (2,67 kg/m³).

W: caudal de flujo másico, en kilogramos por hora (kg/h).

d: diámetro interior de serpentín en milímetros (mm).

El coeficiente de resistencia de tubería recta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K_{\text{tubería recta}} = f \cdot \frac{L}{d} \quad (16)$$

donde:

L: longitud recta de serpentín necesaria, en metros (m). Suma de las longitudes de los tramos y de los carretes.

f: factor de fricción, adimensional. Se obtiene de la *Tabla 7* del *Anexo VI* o bien mediante el uso de los nomogramas.

El coeficiente de resistencia para codos de 90° se calcula como sigue [2]:

$$K_{N.\text{codos}90^\circ} = 14 \cdot f \cdot N^\circ\text{codos} \quad (17)$$

4.1 Caso A: Serpentín 1 in de diámetro

La *Tabla A-II 4.1*, muestra los datos necesarios para la realización de los cálculos.

Temperatura del vapor(°C)	150
Caudal (kg/h) de vapor en cada sección del serpentín	389,773
Densidad (kg/m ³) del vapor saturado	2,67
Diámetro interior del serpentín (mm)	26,6
Longitud recta de serpentín necesaria (m)	163,385
f	0,023
Número de codos de 90°	14

TABLA A-II 4.1: TABLA DE DATOS, SERPENTÍN 1 IN DE DIÁMETRO

Aplicando la *Ecuación 16*:

$$K_{tubería\ recta} = 0,023 \cdot \frac{163,385\ m}{0,0266\ m} = 141,273$$

Sustituyendo datos en la *Ecuación 17*:

$$K_{N.codos90^\circ} = 14 \cdot 0,023 \cdot 14 = 4,508$$

El coeficiente de resistencia total, será la suma de los valores obtenidos en la resolución de la *Ecuación 16* y *Ecuación 17*.

$$K = K_{tubería\ recta} + K_{N.codos90^\circ} = 141,273 + 4,508 = 145,780$$

Aplicando la *Ecuación 15* para determinar la pérdida de presión a través del serpentín de 1 in de diámetro:

$$\Delta P_{serpentín\ 1\ in} = \frac{0,6253 \cdot 145,780 \cdot \left(389,773 \frac{kg}{h}\right)^2}{2,67 \frac{kg}{m^3} \cdot (26,6\ mm)^4} = 10,36 \frac{kg}{cm^2}$$

4.2 Caso B: Serpentín 1½ in de diámetro

La *Tabla A-II 4.2*, muestra los datos necesarios para la realización de los cálculos.

Temperatura del vapor(°C)	150
Caudal (kg/h) de vapor en cada sección del serpentín	545,682
Densidad (kg/m³) del vapor saturado	2,67
Diámetro interior del serpentín (mm)	40,9
Longitud recta de serpentín necesaria (m)	145,553
f	0,020
Número de codos de 90°	12

TABLA A-II 4.2: TABLA DE DATOS, SERPENTÍN 1½ IN DE DIÁMETRO.

Aplicando la *Ecuación 16*:

$$K_{tubería\ recta} = 0,020 \cdot \frac{145,553\ m}{0,0409\ m} = 71,175$$

Sustituyendo datos en la *Ecuación 17*:

$$K_{N.codos\ 90^\circ} = 14 \cdot 0,020 \cdot 12 = 3,528$$

El coeficiente de resistencia total, será la suma de los valores obtenidos en la resolución de la *Ecuación 16* y *Ecuación 17*.

$$K = K_{tubería\ recta} + K_{N.codos\ 90^\circ} = 71,175 + 3,528 = 74,703$$

Aplicando la *Ecuación 15* para determinar la pérdida de presión a través del serpentín de 1½ in de diámetro:

$$\Delta P_{serpentín\ 1\ 1/2\ in} = \frac{0,6253 \cdot 74,703 \cdot \left(545,682 \frac{kg}{h}\right)^2}{2,67 \frac{kg}{m^3} \cdot (40,9\ mm)^4} = 1,86 \frac{kg}{cm^2}$$

4.3 Caso C: Serpentín 2 in de diámetro

La *Tabla A-II 4.3*, muestra los datos necesarios para la realización de los cálculos.

Temperatura del vapor(°C)	150
Caudal (kg/h) de vapor en cada sección del serpentín	682,102
Densidad (kg/m ³) del vapor saturado	2,67
Diámetro interior del serpentín (mm)	52,5
Longitud recta de serpentín necesaria (m)	145,420
f	0,019
Número de codos de 90°	12

TABLA A-II 4.3: TABLA DE DATOS, SERPENTÍN 2 IN DE DIÁMETRO.

Aplicando la *Ecuación 16*:

$$K_{tubería\ recta} = 0,019 \cdot \frac{145,420\ m}{0,0525\ m} = 52,628$$

Sustituyendo datos en la *Ecuación 17*:

$$K_{N.codos\ 90^\circ} = 14 \cdot 0,019 \cdot 12 = 3,192$$

El coeficiente de resistencia total, será la suma de los valores obtenidos en la resolución de la *Ecuación 16* y *Ecuación 17*.

$$K = K_{tubería\ recta} + K_{N.codos\ 90^\circ} = 52,628 + 3,192 = 55,820$$

Aplicando la *Ecuación 15* para determinar la pérdida de presión a través del serpentín de 2 in de diámetro:

$$\Delta P_{serpentín\ 2\ in} = \frac{0,6253 \cdot 55,820 \cdot \left(682,102 \frac{kg}{h}\right)^2}{2,67 \frac{kg}{m^3} \cdot (52,5mm)^4} = 0,80 \frac{kg}{cm^2}$$

4.4 Caso D: Serpentín 3 in de diámetro

La *Tabla A-II 4.4*, muestra los datos necesarios para la realización de los cálculos.

Temperatura del vapor(°C)	150
Caudal (kg/h) de vapor en cada sección del serpentín	909,47
Densidad (kg/m ³) del vapor saturado	2,67
Diámetro interior del serpentín (mm)	77,9
Longitud recta de serpentín necesaria (m)	127,280
f	0,018
Número de codos de 90°	10

TABLA A-II 4.4: TABLA DE DATOS, SERPENTÍN 3 IN DE DIÁMETRO.

Aplicando la *Ecuación 16*:

$$K_{tubería\ recta} = 0,018 \cdot \frac{127,280\ m}{0,0779\ m} = 29,410$$

Sustituyendo datos en la *Ecuación 17*:

$$K_{N.codos\ 90^\circ} = 14 \cdot 0,018 \cdot 10 = 2,520$$

El coeficiente de resistencia total, será la suma de los valores obtenidos en la resolución de la *Ecuación 16* y *Ecuación 17*.

$$K = K_{tubería\ recta} + K_{N.codos\ 90^\circ} = 29,410 + 2,520 = 31,930$$

Aplicando la *Ecuación 15* para determinar la pérdida de presión a través del serpentín de 3 in de diámetro:

$$\Delta P_{serpentín\ 3\ in} = \frac{0,6253 \cdot 31,930 \cdot \left(909,47 \frac{kg}{h}\right)^2}{2,67 \frac{kg}{m^3} \cdot (77,9mm)^4} = 0,17 \frac{kg}{cm^2}$$

La *Tabla A-II 4.5* muestra de modo general los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

Diámetro del serpentín (in)	Pérdida de presión (kg/cm²)
1	10,36
1 ½	1,86
2	0,80
3	0,17

TABLA A-II 4.5: TABLA DE RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL SERPENTÍN.

5 ESTUDIO ECONÓMICO

Este apartado tiene como objetivo la estimación del presupuesto del serpentín. Para ello se tendrá en cuenta el coste que supondrá las conducciones y accesorios del propio serpentín además del coste de montaje y soldadura.

La *Tabla A-II 5.1*, muestra los distintos precios de tubería, montaje y soldadura en función del diámetro del tubo seleccionado, suministrados por el fabricante, *Tubasol, S.A. Grupo Hastinik*.

Serpentín	Suministro de tubería (€/m lineal)	Precio de soldadura (€/unidad)	Precio de montaje (€/m lineal)
Ø 1 in sch.40	12	40	25
Ø 1½ in sch.40	15	55	30
Ø 2 in sch.40	20	75	36
Ø 3 in sch.40	36	105	45

TABLA A-II 5.1: PRECIOS DE SUMINISTRO DE TUBERÍA, SOLDADURA Y MONTAJE DEL SERPENTÍN.

Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla A-II 5.2* y *Tabla A-II 5.3*:

Øs (in)	Longitud sección (m)	Coste de tubería (€)	Nº Pulgadas de soldadura	Coste soldadura (€)	Coste Montaje (€)	Coste Total de sección. (€)
1	166,945	2.003,34	147	5.880	4.173,62	12.057,00
1½	150,175	2.252,62	186	10.230	4.505,24	16.987,70
2	151,576	3.031,52	232	17.400	5.456,73	25.888,25
3	135,067	4.862,42	286	30.030	6.078,03	40.970,45

TABLA A-II 5.2: COSTE TOTAL DE CADA SECCIÓN DEL SERPENTÍN.

Øs (in)	Nº Secciones	Coste total del Serpentín (€)
1	7	84.399,00
1½	5	84.938,50
2	4	103.553,00
3	3	122.911,35

TABLA A-II 5.3: COSTE TOTAL DEL SERPENTÍN

6 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL SERPENTÍN

La selección debe realizarse en función del coste, no obstante, se ha de tener en cuenta que, el más rentable económicamente, puede producir grandes pérdidas de presión no convenientes en el sistema de calefacción. Si esto fuese así, se opta por el siguiente más económico y cuyas pérdidas no supongan una gran influencia en el sistema.

La *Tabla A-II 5.4* muestra los datos de interés para la selección del serpentín del sistema de calefacción.

Φ_s (in)	Nº Secciones	Coste total del Serpentín (€)	Pérdida de presión (kg/cm ²)
1	7	84.399,00	10,36
1 _{1/2}	5	84.938,50	1,86
2	4	103.553,00	0,80
3	3	122.911,35	0,17

TABLA A-II 6.1: COSTE TOTAL DEL SERPENTÍN.

Observando los resultados obtenidos, llegamos a la conclusión de que el serpentín más rentable es el serpentín de 1 ½ in de diámetro, con un coste de *ochenta y cuatro mil novecientos treinta y ocho euros con cincuenta céntimos*, el cual produce una pérdida de presión de 1,86 kg /cm², soportables por el sistema de calefacción.

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR
PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

ANEXO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	166
2	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE CADA LÍNEA.....	167
3	CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERÍA.....	170
4	PÉRDIDAS DE CARGA	173
4.1	PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUA	173
4.2	PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES.....	176
4.3	PÉRDIDAS DE CARGAS SINGULARES (OTROS ELEMENTOS).....	183

1 INTRODUCCIÓN

La instalación consta de las siguientes líneas principales:

- ▶ Línea de vapor: desde la caldera a la entrada de cada uno de los tanques
- ▶ Línea de condensado: desde la salida de cada uno de los tanques al degasificador.
- ▶ Línea de alimentación de agua: desde la red de suministro a la unidad de tratamiento de agua.

Los cálculos comenzaran por determinar el diámetro y espesos de cada línea y a continuación se procederá a calcular las pérdidas de carga producidas en las mismas.

Se realizará el dimensionamiento de la última línea al igual que en las líneas anteriores, obviando los cálculos de las pérdidas de carga, debido a que los suministradores nos garantizan condiciones de suministro suficientes para abastecer al sistema del agua de la red de alimentación.

2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE CADA LÍNEA

La sistemática seguida de una manera práctica para la determinación del diámetro de una tubería es establecer dicho diámetro inicialmente en función del caudal de fluido que por ella ha de circular y de la elección de una velocidad de fluido, que se estima, generalmente en base a valores que aparecen tabulados en la bibliografía (*Tabla A-III 2.1*).

Fluido	Velocidad m/s	Fluido	Velocidad m/s
Agua en general	1 a 3	Gases a baja presión	3 a 10
Agua caliente	2 a 3	Gases a alta presión	5 a 15
Agua para turbinas	2 a 7	Aire comprimido	3 a 10
Fluidos viscosos, aceites, alquitranes	1 a 2	Vapor saturado	10 a 25
		Vapor recalentado	30 a 60

TABLA A-III 2.1: VELOCIDADES DEL FLUIDO EN CONDUCCIONES. [1]

Cada tipo de flujo tiene su propio y peculiar límite de velocidad más allá del cual no debe diseñarse. Una aproximación basada en la experiencia ingenieril, indica que la velocidad de flujo, según las buenas prácticas de ingeniería para vapores no debe sobrepasar el valor de 35 m/s y la pérdida de carga no debe ser superior a 0.037 kg/cm² por cada 100 m de tubería (ver *Tabla 8*, del *Anexo VI*). La pérdida de carga para líquidos en ramales mayores a 200 m debe estar entre 0,11 y 0,23 kg/cm²/100m y para menores de 200 m, entre 0,34 y 0,7 kg/cm²/100m. La velocidad para líquidos no debe superar según diámetro menor o igual de 4 in, 2m/s; de 6 in, 3m/s; 8 in, 4m/s y mayor o igual de 10 in, 4,5 m/s.

Estos valores se obtienen de estudios de optimización técnica/económica, ya que cuanto mayor es el diámetro de las tuberías, la pérdida de carga es menor, el equipo que impulsa el fluido (bomba, caldera, etc), deberá aportar una presión también menor, con lo que estos equipos serán más baratos, pero el gasto en tubería, soportación y aislamiento es mayor, así que hay que llegar a unos valores de compromiso que hagan óptimo el equilibrio entre estos dos costes (tubería y equipos).

No obstante, una vez establecido el diámetro será necesario comprobar la aceptabilidad del mismo estudiando que la pérdida de carga que se produciría en el sistema es aceptable y que no se presentarían problemas mecánicos debido a ello.

La ecuación básica para el cálculo del diámetro es:

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = v \left(\frac{m}{s} \right) \cdot S(m^2) = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (1)$$

de donde:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot v \cdot \rho}} \quad (2)$$

siendo:

D: diámetro de la tubería, en metros (m).

Q: caudal volumétrico, en metros cúbico por segundo (m³/s).

v: velocidad del fluido, en metros por segundo (m/s).

W: caudal másico, en kilogramos hora (kg/h).

ρ: densidad del fluido, en kilogramo metro cúbico (kg/m³).

1) Línea de vapor:

Esta línea va a conducir un caudal de 2893,47 kg/h de vapor saturado, a una temperatura del fluido de 150°C, cuya densidad es de 2,67 kg/m³. Las condiciones de diseño serán:

T_D: 150°C+15°C = 165°C

P_D: 8 kg/cm², dada por la fabricante de la caldera

Estimando, en base a los valores tabulados, que la velocidad del vapor es 20 m/s, y sustituyendo los datos en la *Ecuación 2*:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2893,47 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{\pi \cdot 20 \frac{m}{s} \cdot 2,67 \frac{kg}{m^3}}} = 0,1384m = 5,450"$$

Éste es el diámetro teórico calculado, que normalmente no coincidirá con un diámetro comercial (nominal) y será necesario elegir desde el punto de vista práctico el diámetro comercial inmediatamente superior, tras consultar la *Tabla 9* de diámetros de tubería y espesores según ASME/ANSI B31.10/19, dicha tabla se puede consultar en el *Anexo VI*, se selecciona la tubería de diámetro nominal 6 in.

2) Línea de condensado

Para el cálculo, se debe de tener en cuenta que la condensación debe ser isotérmica, el líquido debe estar a la temperatura del vapor y además se supone que todo lo que entra de vapor en el serpentín sale de condensado.

Esta línea va a conducir un caudal de 2893,47 kg/h de condensado, a una temperatura del fluido de 100°C, cuya densidad es de 947 kg/m³. Las condiciones de diseño serán:

$$T_D: 100^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C} = 115^\circ\text{C}$$

$$P_D: 8 \text{ kg/cm}^2$$

Estimando, en base a los valores tabulados, que la velocidad del vapor es 0,5 m/s, y sustituyendo los datos en la *Ecuación 2*:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2893,47 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 947 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,046\text{m} = 1,860''$$

Tras consultar la *Tabla 9* de diámetros de tubería y espesores según ASME/ANSI B31.10/19, se selecciona la tubería de diámetro nominal 2 in.

3) Línea de alimentación

Esta línea va a conducir un caudal de 2893,47 kg/h de agua, a una temperatura del fluido de 15°C, cuya densidad es de 1000 kg/m³. Las condiciones de diseño serán:

$$T_D: 15^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$$

$$P_D: 4 \text{ kg/cm}^2 + 2 = 6 \text{ kg/cm}^2$$

Estimando, en base a los valores tabulados, que la velocidad del agua de alimentación es 0,5 m/s, y sustituyendo los datos en la *Ecuación 2*:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2893,47 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{\pi \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,045\text{m} = 1,781''$$

Tras consultar la *Tabla 9* de diámetros de tubería y espesores según ASME/ANSI B31.10/19, se selecciona la tubería de diámetro nominal 2 in.

3 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERÍA

Para el cálculo del espesor, se hace uso de la fórmula de Barlow, según el código ASME B31.8:

$$t = \frac{P \cdot D}{2S} \quad (3)$$

siendo:

t: espesor mínimo de tubería, en pulgadas (in).

P: presión interna de diseño (psi).

D₀: diámetro externo de tubería, en pulgadas (in).

S: tensión máxima admisible del material a la temperatura de diseño (psi).

En un diseño real, será necesario agregar algunas consideraciones. Se entrega a continuación la fórmula adoptada por el ANSI “Code for Pressure Piping”, B31 y por el ASME “Boiler Construction Code”. Según ambas normas, el espesor mínimo de pared de una tubería se calcula como sigue:

$$t_m = \left(\frac{P \cdot D_0}{2(SE + PY)} + C \right) \cdot M \quad (4)$$

siendo:

E: factor de eficacia de la soldadura; para tubos sin costura se toma E=1.

Y: coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura; para aceros su valor es de 0,4 hasta temperaturas de 900°F.

C: sobre-espesor de corrosión. En general, para acero al carbono adquiere un valor de 1,5-3 mm, el menor corresponde al caso usual de condiciones poco severas y el mayor corresponde al caso en que se está cerca de la velocidad de corrosión máxima admisible para el material. Se toma un valor de sobre-espesor de corrosión de 1,5mm (0,0591 in).

M: tolerancia de fabricación; para el caso de tuberías de acero, el valor admitido es de 12,5%.

El material seleccionado para todas las líneas es acero SA-285 Gr.A. La elección de dicho material queda justificada en el *Documento I: Memoria Descriptiva, Capítulo 6*.

Una vez calculado el espesor mínimo se consulta la *Tabla 9* del *Anexo VI* y se estima el *schedule*, el cuál aportará el espesor final; el *schedule* es una denominación comercial del espesor con el objeto de unificar las dimensiones de tuberías; a partir de este, queda designado el diámetro interior, pudiendo calcular de este modo la velocidad

real que tendrá el fluido en el interior del tubo.

1) Línea de vapor

En función del material seleccionado y la temperatura de diseño, la tensión máxima admisible del material tendrá un valor u otro. El material seleccionado para esta línea es acero SA-285 Gr.A, con un $S = 14200$ psi, según la Tabla A-1 del código ASME B31.3, incluida en el *Anexo VI (Tabla 10)*.

Empleando la *Ecuación 4*:

$$P_D = 8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ kg/cm}^2} \cdot \frac{1,45 \cdot 10^{-4} \text{ psi}}{1 \text{ Pa}} = 116 \text{ psi}$$

$$t_m = \left(\frac{116 \text{ psi} \cdot 6,625 \text{ in}}{2(14200 \cdot 1 + 116 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,0591 \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{12,5}{100}} = 0,098 \text{ in}$$

Considerando el valor del espesor mínimo correspondiente a la línea de vapor (0,098 in), se consulta la *Tabla 9* y se estima que el *schedule* para una tubería de 6 in de diámetro nominal es 5S, que corresponde a un espesor de 0,109 in.

2) Línea de condensado

El material seleccionado para esta línea es acero SA-285 Gr.A, con un $S = 14200$ psi.

Sustituyendo datos en la *Ecuación 4*:

$$t_m = \left(\frac{116 \text{ psi} \cdot 2,375 \text{ in}}{2(14200 \cdot 1 + 116 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,0591 \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{12,5}{100}} = 0,078 \text{ in}$$

Tras consultar la *Tabla 9*, se estima que el *schedule* para una tubería de 2 in de diámetro nominal es 10S, que corresponde a un espesor de 0,109 in.

3) Línea de alimentación

El material seleccionado para esta línea es acero SA-285 Gr.A, con un $S = 15000$ psi.

Sustituyendo datos en la *Ecuación 4*:

$$P_D = 6 \text{ kg/cm}^2 \cdot \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ kg/cm}^2} \cdot \frac{1,45 \cdot 10^{-4} \text{ psi}}{1 \text{ Pa}} = 87 \text{ psi}$$

$$t_m = \left(\frac{87 \text{ psi} \cdot 2,375 \text{ in}}{2(15000 \cdot 1 + 116 \text{ psi} \cdot 0,4)} + 0,0591 \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{12,5}{100}} = 0,075 \text{ in}$$

Tras consultar la *Tabla 9*, se estima que el *schedule* para una tubería de 2 in de diámetro nominal es 10S, que corresponde a un espesor de 0,109 in.

Los resultados obtenidos se muestran en las *Tablas A-III 3.1, 3.2 y 3.3*.

Línea	Temperatura de diseño (°C)	Presión de diseño (kg/cm ²)	Material	Tensión máxima admisible, S(Kpsi)
Vapor	165	8	SC-285 Gr.A	14,20
Condensado	115	8	SC-285 Gr.A	14,20
Alimentación	30	6	SC-285 Gr.A	15,00

TABLA A-III 3.1: CARACTERÍSTICAS DE CADA LÍNEA DE TUBERÍA DEL SISTEMA DE VAPOR

Línea	Caudal (kg/h)	Velocidad supuesta (m/s)	Diámetro calculado (in)	Espesor mínimo, t _m (in)
Vapor	2893,47	20	5,45	0,098
Condensado	2893,47	0,5	1,86	0,079
Alimentación	2893,47	0,5	1,78	0,075

TABLA A-III 3.2: CARACTERÍSTICAS DE CADA LÍNEA DE TUBERÍA DEL SISTEMA DE VAPOR

Línea	Diámetro nominal, D _N (in)	Schedule	Diámetro exterior, D _o (in)	Espesor, t (in)	Diámetro interior, D _i (in)	Velocidad, v (m/s)
Vapor	6	5S	6,625	0,109	6,407	14,50
Condensado	2	10S	2,375	0,109	2,157	0,37
Alimentación	2	10S	2,375	0,109	2,157	0,34

TABLA A-III 3.3: CARACTERÍSTICAS DE CADA LÍNEA DE TUBERÍA DEL SISTEMA DE VAPOR

4 PÉRDIDAS DE CARGA

El cálculo de las pérdidas de carga, se realiza para el tanque más alejado de la caldera, comprobando de esta manera, que no existe la necesidad de instalar sistemas de bombeo, es decir, la caldera suministra una presión suficiente como para que el vapor llegue hasta el tanque más alejado y retorne el condensado al degasificador.

Al realizar los cálculos hay que distinguir entre las pérdidas de carga continuas; debido al rozamiento del fluido con las paredes de los conductos, las pérdidas de carga singulares; debido a la resistencia de los codos, las válvulas y todos los elementos que obstaculizan el paso del líquido, y las pérdidas de carga singulares debidas a otros elementos como los serpentines en los depósitos.

Como se ha comentado en el apartado de introducción del presente anexo, las pérdidas de carga en la línea de alimentación, no son objeto del presente proyecto, debido a que el agua de alimentación procede de la acometida de agua (de la red de suministro) y esta habilitada para proporcionar las condiciones de suministro necesarias, abasteciendo de esta forma al sistema de vapor.

4.1 Pérdidas de carga continua

Las pérdidas de energía mecánica debida a la fricción del fluido a su paso por la sección de una tubería se deben a varias características del sistema, que pueden clasificarse como sigue:

- ▶ Rozamiento en las paredes de la tubería, que es función de la rugosidad de la superficie interior de la misma, del diámetro interior de la tubería y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.
- ▶ Cambios en la dirección del flujo.
- ▶ Obstrucciones en el paso del flujo.
- ▶ Cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del flujo.

Existen datos sobre pruebas de pérdidas de presión para una amplia variedad de válvulas y accesorios, fruto de trabajo de muchos investigadores.

Las pérdidas de energía mecánica debida a la fricción del fluido a su paso por la sección de una tubería se calculan mediante la Ecuación de Darcy:

$$h_L = \left(f \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

donde:

h_L : pérdida de carga continua, en metros (m).

f : factor de fricción de Darcy, adimensional.

L : longitud de la tubería, en metros (m).

D : diámetro de la tubería, en metros (m).

v : velocidad del fluido, en metros por segundo (m/s).

g : aceleración de la gravedad, en metros por segundo elevados al cuadrado (m/s^2).

K : coeficiente de resistencia, adimensional.

La Ecuación de Darcy, se transforma en términos más adecuados y toma la siguiente forma [2]:

$$\Delta P_{\text{continuas}} = 62530 \cdot f \cdot \frac{W^2}{d_{\text{int}}^5 \cdot \rho} \left(\frac{kg/cm^2}{100 \text{ m tubería}} \right) \quad (6)$$

Siendo:

W : caudal másico de fluido, en kilogramo hora (2893,47 kg/h).

d_{int} : diámetro interior de la tubería, en milímetro (mm).

ρ : densidad del fluido, en kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

Los nomogramas empleados en éste capítulo son soluciones gráficas de las formulas de flujo aplicables a tuberías, basados en la fórmula de Darcy, ya que es una formula general aplicada a todos los fluidos y puede aplicarse a todo tipo de tuberías mediante el uso del diagrama del factor de fricción de Moody. Los problemas de flujo en válvulas y accesorios pueden resolverse también mediante nomogramas, determinando su longitud equivalente en metros o pies de tubería recta.

Los nomogramas presentes proporcionan soluciones simples, rápidas, prácticas y razonablemente exactas a las fórmulas de flujo.

1) Línea de vapor

Para el cálculo del factor de fricción para tuberías nuevas de acero se emplea el *Nomograma I* del *Anexo VI*, a partir de la gráfica en el centro de éste.

Los datos requeridos para el uso del nomograma, son:

Diámetro interior, D_i (mm)	163
Viscosidad del vapor, μ (cP)	0,014
Caudal másico, W (kg/h)	2893,47

TABLA A-III 4.1: TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE F DE LA LÍNEA DE VAPOR.

A continuación se procede de la siguiente manera:

1. Con el caudal másico y la viscosidad se obtiene la lectura del índice.
2. Con el índice y el diámetro interno de la tubería, se obtiene el número de Reynolds.
3. Con el número de Reynolds y el diámetro interno de la tubería, se determina el factor de fricción buscado.

Unir		Lectura
$W = 2893,47$	$\mu = 0,014$	Índice
Índice	$D_i = 163$	$Re = 430.000$
$Re = 430.000$	$D_i = 163$	$f = 0,016$

TABLA A-III 4.2: PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE F DE LA LÍNEA DE VAPOR.

Aplicando la Ecuación 6:

$$\Delta P_{cont.} = 62530 \cdot 0,016 \cdot \frac{\left(2893,47 \frac{kg}{h}\right)^2}{(163mm)^5 \cdot 2,67 \frac{kg}{m^3}} = 0,027 \left(kg/cm^2 / 100 m tubería \right)$$

Se obtiene una pérdida de carga continua en la conducción de vapor de 0,027 kg/cm² cada cien metros de tubería.

2) Línea de condesado

La Tabla A-III 4.3 muestra los datos necesarios para la determinación del factor de fricción. Para la conducción de condensado se debe emplear el Nomograma 2 del Anexo VI.

Diámetro interior, D_i (mm)	55
Viscosidad del condensado, μ (cP)	0,181
Caudal másico, W (kg/h)	2893,47

TABLA A-III 4.3: TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE F DE LA LÍNEA DE CONDENSADO.

El procedimiento para calcular “f” es el mismo que en el caso anterior.

Unir		Lectura
W = 2893,47	$\mu = 0,181$	Índice
Índice	$D_i = 55$	Re = 24.000
Re = 24.000	$D_i = 55$	f = 0,026

TABLA A-III 4.4: PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE F DE LA LÍNEA DE CONDENSADO.

Sustituyendo los datos en la Ecuación 6:

$$\Delta P_{cont.} = 62530 \cdot 0,026 \cdot \frac{\left(2893,47 \frac{kg}{h}\right)^2}{(55mm)^5 \cdot 947 \frac{kg}{m^3}} = 0,030 \left(kg/cm^2/100 m tubería\right)$$

Se obtiene que cada cien metros de tubería de condensado, se produce una pérdida de carga continua en la conducción de 0,030 kg/cm².

La Tabla A-III 4.5, muestra los datos obtenidos en el cálculo de las pérdidas de carga continuas de las tuberías:

Línea	Diámetro nominal, D _N (in)	Schedule, Sh	Espesor, t (in)	Pérdida de carga continua (kg/cm ² /100m)
Vapor	6	5S	0,109	0,027
Condensado	2	10S	0,109	0,030

TABLA A-III 4.5: TABLA RESUMEN DE DISEÑO DE TUBERÍAS, PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUAS.

4.2 Pérdidas de carga singulares

Las pérdidas de cargas singulares o locales se producen cuando la corriente pierde su uniformidad y se ve alterada a causa de obstáculos en las conducciones, así como válvulas, acoplamientos, reducciones, codos, cambios de dirección, derivaciones, ect, que disipan la energía.

La determinación de las pérdidas de carga singulares es compleja ya que dependen de la velocidad a la que pasa el fluido por el obstáculo, la cual no es constante. En instalaciones como la que se proyecta es muy útil la utilización del método de la longitud equivalente, que consiste en sustituir el accesorio por una longitud equivalente de tubo, que produzca por rozamiento la misma pérdida.

Conocida la longitud equivalente de un accesorio, se puede calcular la pérdida de carga que produce (h_f) aplicando la ecuación siguiente, sustituyendo la longitud L del

conducto por la longitud equivalente L_E de la pieza.

$$h_f = (4f) \cdot \frac{L_E}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

donde:

4f: es el factor de fricción de Darcy.

L_E : es la longitud equivalente en metros.

D: es el diámetro interior de la tubería en metros.

v: es la velocidad del fluido en m/s.

g: es la aceleración de la gravedad en m/s^2 .

Esta fórmula es conocida como la Ecuación de Fanning. Los valores de longitud equivalente para cada accesorio se obtienen de nomogramas o tablas establecidas para ello incluidas en el presente proyecto en el *Anexo VI*.

El valor del factor de fricción de Darcy se determinó en el apartado anterior. La *Tabla A-III 4.6* muestra los datos necesarios para la realización de los cálculos.

Línea	Diámetro nominal (in)	Diámetro interno (in)	Velocidad (m/s)	Factor de fricción (adim.)
Vapor	6	6,407	14,5	0,016
Condensado	2	2,245	0,34	0,026

TABLA A-III 4.6: DATOS PARA EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

En las *Tablas A-III 4.7 y 4.8*, se muestra los accesorios de cada línea de tubería y la longitud equivalente de cada uno de ellos (*Tablas 11, 12 y 13 del Anexo VI*). Las pérdidas de carga calculadas se detallan en la *Tabla A-III 4.9*.

LÍNEA DE VAPOR (6 in)				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
Válvula de bloqueo (compuerta)		8	2	16
“T” paso recto		6	3	18
“T” paso lateral		1	9,1	9,1
codo 90°		5	4,5	22,5
Estrechamiento	6x3"	1	1,5	1,5
	3x1 ½	1	0,73	0,73
Total (m)	67,83			

TABLA A-III 4.7: LONGITUDES EQUIVALENTES DE LOS ACCESORIOS DE LA LÍNEA DE VAPOR

LÍNEA DE CONDENSADO (2 in)				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidad	Unidad	Total
Válvula de bloqueo (compuerta)		2	0,67	1,34
“T” paso recto		3	1	3
“T” paso lateral		1	3	3
codo 90°		4	1,5	6
Válvula Check (retención)		1	6,7	6,7
Ensanchamiento	1½ x2	1	0,40	0,40
Total (m)	20,44			

TABLA A-III 4.8: LONGITUDES EQUIVALENTES DE LOS ACCESORIOS DE LA LÍNEA DE CONDENSADO

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 7*:

1) Línea de vapor

$$h_{f(vapor)} = 0,016 \cdot \frac{67,83 \text{ m}}{6,407 \text{ in} \cdot \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ in}}} \cdot \frac{(14,5 \text{ m})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 71,19 \text{ m}$$

2) Línea de condensado

$$h_{f(condensado)} = 0,026 \cdot \frac{20,44 \text{ m}}{2,245 \text{ in} \cdot \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ in}}} \cdot \frac{(0,34 \text{ m})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,056 \text{ m}$$

Para obtener las pérdidas de carga singulares en unidades de kg/cm²:

1) Línea de vapor

$$\Delta P_{sing.} = h_{f(vapor)} \cdot \rho_v = 71,19 \text{ m} \cdot 2,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{1 \text{ m}^2}{10.000 \text{ cm}^2} = 0,019 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

2) Línea de condensado

$$\Delta P_{sing.} = h_{f(condensado)} \cdot \rho_c = 0,056 \text{ m} \cdot 947 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{1 \text{ m}^2}{10.000 \text{ cm}^2} = 0,005 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

		PÉRDIDAS DE CARGA (kg/cm ²)		
Línea	Diámetro nominal (in)	Continuas	Singulares	Total
Vapor	6	0,055	0,019	0,074
Condensado	2	0,06	0,005	0,065

TABLA A-III 4.9: PERDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS: CONTINUAS Y SINGULARES.

Decir que cada línea dispone de 200 m de tubería.

A continuación, se procede a dividir las líneas principales de vapor y condensado en tramos, para disponer de mayor información de las mismas. Cada tramo de tubería se designa mediante un número indicado en el diagrama de flujo (*Plano n° PFC.1.02*). Para mayor comodidad del lector, la numeración de los tramos puede verse en la *Figura A-III 4.1*.

En las *Tablas A-III 4.10 y 4.11*, se detallan los accesorios de cada tramo de tubería, la longitud equivalente de cada uno de ellos y las pérdidas de carga calculadas. Las características de cada corriente se muestran en la *Tabla A-III 4.12 y 4.13*.

Existen determinadas corrientes (tramos de tubería) definidas en el diagrama de flujo que no se especifican, debido a que estas entran dentro del “paquete” caldera-desgasificador y unidad de ósmosis.

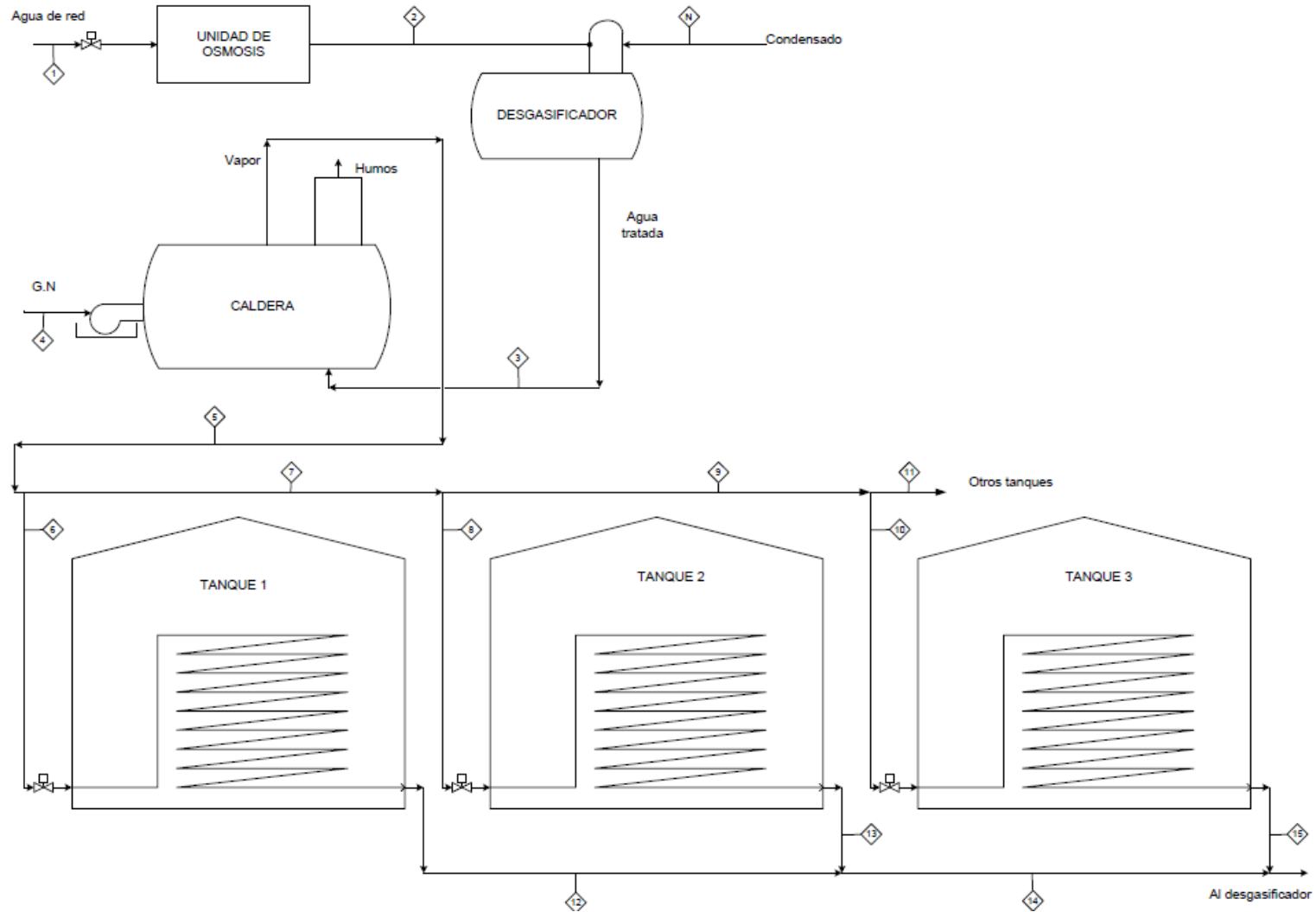


FIGURA A-III 4.1: NUMERACIÓN DE LOS TRAMOS DEL SISTEMA DE TUBERÍA

LÍNEA DE VAPOR (6 in)				
TRAMO 5				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
Válvula de bloqueo (compuerta)		2	2	4
“T” paso recto		1	3	3
codo 90°		5	4,5	22,5
Tubería recta (m)	30			
Total (m)	59,50			
ΔP (kg/cm²)	0,017			
TRAMO 6,8,10				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
Válvula de bloqueo (compuerta)		6	2	12
“T” paso recto		3	3	9
codo 90°		1	4,5	4,5
Estrechamiento	6x3"	1	1,5	1,5
	3x1 ½	1	0,73	0,73
Tubería recta (m)	10			
Total (m)	37,73			
ΔP (kg/cm²)	0,011			
TRAMO 7,9,11				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
“T” paso recto		1	3	3
Tubería recta (m)	30			
Total (m)	33			
ΔP (kg/cm²)	0,009			

TABLA A-III 4.6: LONGITUD EQUIVALENTE EN CADA TRAMO DE LA LÍNEA DE VAPOR.

LÍNEA DE CONDENSADO (2 in)				
TRAMO 12				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
Válvula de bloqueo (compuerta)		2	0,67	1,34
“T” paso recto		2	1	2
codo 90°		2	1,5	3
Válvula check		1	6,7	6,7
Ensanchamiento	1 1/2 x2	1	0,40	0,40
Tubería recta (m)	40			
Total (m)	53,44			
ΔP (kg/cm²)	0,013			
TRAMO 13,15				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
Válvula de bloqueo (compuerta)		2	0,67	1,34
“T” paso recto		1	1	1
codo 90°		1	1,5	1,5
Válvula check		1	6,7	6,7
Ensanchamiento	1 1/2 x2	1	0,40	0,40
Tubería recta (m)	10			
Total (m)	20,94			
ΔP (kg/cm²)	0,005			
TRAMO 14				
			Longitud equivalente (m)	
Accesorio		Unidades	Unidad	Total
“T” paso recto		1	3	3
Tubería recta (m)	30			
Total (m)	31			
ΔP (kg/cm²)	0,008			

TABLA A-III 4.7: LONGITUD EQUIVALENTE EN CADA TRAMO DE LA LÍNEA DE CONDENSADO.

LÍNEA DE VAPOR							
Tramo	5	6	7	8	9	10	11
P (kg/cm ²)	3,983	3,972	3,974	3,963	3,964	3,954	3,956
Caudal (kg/h)	2893,47	2728,41	2893,47	2728,41	2893,47	2728,41	2893,47
T (°C)	150						

TABLA A-III 4.12: CARACTERÍSTICAS DE CADA TRAMO DE LA LÍNEA DE VAPOR

LÍNEA DE CONDENSADO					
Tramo	12	13	14	15	N
P (kg/cm ²)	2,097	2,096	2,088	2,087	1,300
Caudal (kg/h)	2728,41				
T (°C)	100				

TABLA A-III 4.13: CARACTERÍSTICAS DE CADA TRAMO DE LA LÍNEA DE CONDENSADO

4.3 Pérdidas de cargas singulares (otros elementos)

Se determinan teniendo en cuenta la información facilitada por los fabricantes, o bien mediante cálculos particulares para cada elemento. Un ejemplo de pérdidas de carga singulares de otros elementos pueden ser los serpentines de los depósitos.

El cálculo de la pérdida de carga a través de los serpentines, se encuentra en el apartado del dimensionamiento del serpentín *Anexo II*.

Se obtiene que la pérdida de carga debida al serpentín es de 1,86 kg/cm².

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA
CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL

ANEXO IV: DIMENSIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE CONTROL

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	185
2	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FLUJO (CV).....	187
3	PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN	193

1 INTRODUCCIÓN

En el presente anexo del Proyecto Fin de Carrera, se dimensionará la válvula de control. Una vez determinada la pérdida de carga que produce ésta al sistema de calefacción, se hallará la pérdida de carga total del sistema, suma de las pérdidas de carga producidas en el sistema de tubería, serpentín (halladas en los anexos anteriores) y válvula de control.

Cada válvula de control debe diseñarse y seleccionarse para proveer una operación y control confiable a las condiciones de operación y diseño especificadas, es decir, hay que seleccionarla de forma que trabaje bien dentro de caudales y presiones en los que tendrá que actuar la instalación diseñada.

Las especificaciones mencionan cómo deben de diseñarse y calcularse las diferentes partes de la válvula de control en función de los datos, detalles de operación y diseño y de los requerimientos del usuario, considerando la experiencia acumulada de los mismos y de las instituciones que normalizan todo lo relacionado con las válvulas de control, como es la ISA (*Instrument Society of America*) que rige para toda América.

Por lo general, el dimensionamiento de una válvula de control debe basarse en ISA S75.01 que son las ecuaciones de flujo para dimensionar válvulas de control y la norma IEC 534-2 (*Comisión Electrónica Internacional*).

El dimensionamiento de válvulas de control tiene como objetivo seleccionar el tamaño nominal de la válvula más adecuado para el rango de caudales que dicha válvula debe controlar. El principal uso de las ecuaciones es ayudar en la selección de una válvula de tamaño adecuado para una aplicación específica. En algunas dependencias de la industria de válvulas, es habitual expresar la capacidad de la válvula y las características del flujo de la válvula en términos del coeficiente de flujo C_V . El coeficiente C_V de una válvula es definido como el flujo de agua a 60 °F en gal/min a una caída de presión de 1 lb/in² a través de la válvula.

La terminología C_V es empleada en Estados Unidos y Gran Bretaña, otro coeficiente usado en algunos países, particularmente en Europa, es K_V y se define así: caudal de agua en metros cúbicos por hora (m³/h) que produce una pérdida de presión de un kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (kg/cm²) en la válvula.

Los tamaños nominales de las válvulas coinciden con los de las tuberías comerciales, sin embargo para cada tamaño nominal pueden existir diferentes válvulas que permiten regular diferentes intervalos de caudal, es decir con diferentes capacidades.

La instalación proyectada dispone de dos válvulas de control distintas, una de ellas es la válvula que regula el caudal de vapor a la entrada del serpentín (en la línea de vapor), en función de la temperatura a la que se encuentre el aceite de palma; la segunda válvula de control, en la línea de alimentación, se encarga de regular el caudal del agua de alimentación en función de la demanda de vapor. Esta última viene incluida en la unidad de osmosis inversa, por lo que no se realiza su dimensionamiento.

2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FLUJO (Cv)

La ecuación correspondiente para el flujo de gas y de vapor, es [27]:

$$K_v = \frac{W}{N_6 \cdot F_p \cdot Y \cdot \sqrt{x \cdot p_1 \cdot \rho_v}} \quad (1)$$

donde:

Kv: coeficiente de flujo de la válvula, en metros cúbicos por hora (m³/h).

W: caudal másico de vapor, en kilogramos hora (kg/h).

N₆: constante numérica sobre la base de las unidades empleadas (ver *Tabla A-IV 3.1*)

Fp: factor geométrico de la tubería, se considera igual a la unidad.

Y: factor de expansión del gas, se calcula mediante la siguiente ecuación,

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_k \cdot \Delta P} = 1 - \frac{1,40}{3 \cdot k \cdot p_1} \quad (2)$$

x: coeficiente de caída de presión,

$$x = \frac{\Delta P}{p_1} \quad (3)$$

p₁: presión ascendente, en bares (kg/cm²)

ρ_v: densidad del vapor, en kilogramos metros cúbicos (kg/m³)

F_k: factor adimensional.

$$F_k = \frac{k}{1,40} \quad (4)$$

k: relación entre los calor específico del gas, adimensional (c_p/c_v).

Todos estos datos, necesarios para el cálculo del coeficiente de flujo de la válvula, se especifican en la *Tabla A-IV 2.1*.

Constant		Units Used in Equations				
N		w	q*	p, Δp	γ ₁	T ₁
N ₆	2.73	kg/h	-	kPa	kg/m ³	-
	27.3	kg/h	-	bar	kg/m ³	-
	63.3	lb/h	-	psia	lb/ft ³	-
N ₇	4.17	-	m ³ /h	kPa	-	K
	417.0	-	m ³ /h	bar	-	K
	1360.0	-	scfh	psia	-	R
N ₈	0.948	kg/h	-	kPa	-	K
	94.8	kg/h	-	bar	-	K
	19.3	lb/h	-	psia	-	R
N ₉	22.5	-	m ³ /h	kPa	-	K
	2250.0	-	m ³ /h	bar	-	K
	7320.0	-	scfh	psia	-	R

*q is in cubic feet per hour measured at 14.73 psia and 60°F, or cubic meters per hour measured at 101.3 kPa and 15.6° C.

TABLA A-IV 2.1: CONSTANTES NUMÉRICAS PARA LAS ECUACIONES DE FLUJO DE GAS Y VAPOR.

Propiedades del vapor		
Temperatura del vapor	150	°C
Presión de operación	4	kg/cm ²
Calor específico a P cte, C _p	2,41	kJ/kg°C
Calor específico a V cte, C _v	1,76	kJ/kg°C
Constante k	1,37	Adimensional
Densidad del vapor	2,67	kg/m ³

TABLA A-IV 2.2: TABLA DE DATOS DE PROPIEDADES DEL VAPOR PARA EL CÁLCULO DE CV.

La válvula de control actuará en un rango de operación, el cuál se define como la relación entre el caudal mínimo y máximo controlables que tiene una válvula. Usualmente el caudal máximo se da para un 80% apertura del vástago, y el flujo mínimo para un 5% respectivamente.

El caudal máximo de vapor será el caudal necesario en el calentamiento del tanque, el caudal mínimo será el caudal de vapor necesario para el mantenimiento de la temperatura del aceite. Debe tenerse en cuenta que el tanque se irá vaciando por lo que cada vez el aporte de vapor requerido en el mantenimiento será menor y se llegará a la situación en el que no sea necesario más suministro de vapor, por lo que la válvula de control quedará completamente cerrada.

La *Figura A-IV 2.1*, muestra un esquema con las condiciones de entrada de la

válvula, en las dos situaciones presentes del proyecto.

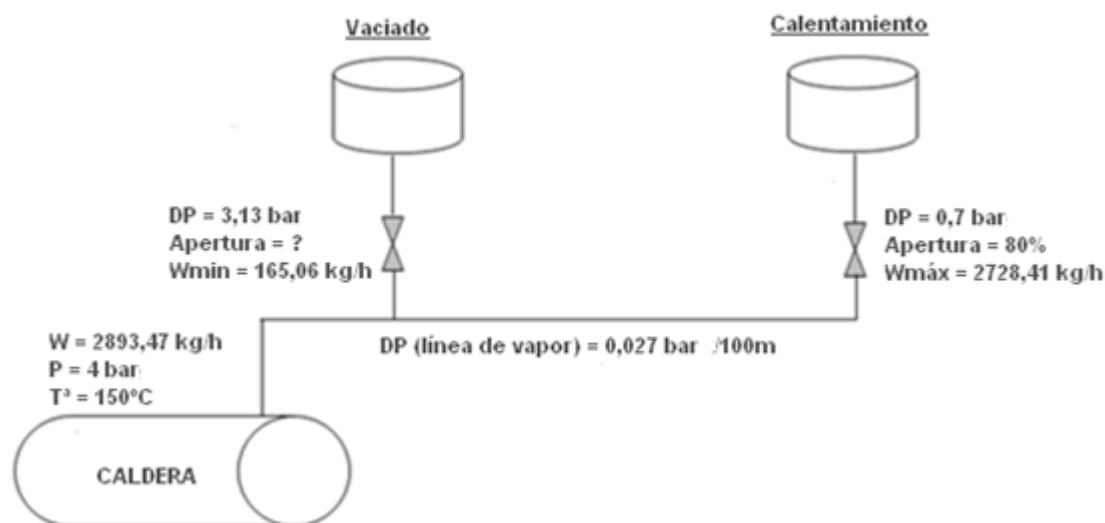


FIGURA A-IV 2.1: CONDICIONES DE ENTRADA DE LA VÁLVULA DE CONTROL.

En el interés de la economía, el ingeniero intenta mantener la caída de presión de la válvula lo más baja posible. En ocasiones, es necesario hacer una arbitraria elección de la caída de presión a través de la válvula, porque escasos procesos disponen de datos.

Se ha optado por seleccionar, según especificaciones de ingeniería y datos bibliográficos, que la pérdida de carga a través de la válvula sea de **0,7 kg/cm²** a caudal máximo.

La *Tabla A-IV 2.3*, muestra de modo aproximado, las pérdidas de carga producidas por la propia válvula, dependiendo del tipo de la misma, suponiendo que la válvula seas de un tamaño inmediatamente inferior al de la tubería.

Válvula de control	Pérdida de carga, bar
Simple asiento	0,7
Doble asiento	0,5
Obturador de jaula	0,3
Mariposa	0,01
Bola en V	0,07

TABLA A-IV 2.3: PÉRDIDAS DE CARGA DE LA VÁLVULA DE CONTROL.

Evaluando la expresión (Kv) para flujo máximo, se tiene que:

$$K_{Vmax} = \frac{W_{max}}{N_6 \cdot Fp \cdot Y \cdot \sqrt{x \cdot \rho_1 \cdot \gamma_1}} \quad (5)$$

Donde a “ K_{Vmax} ” se le denomina capacidad máxima de flujo de la válvula.

El “ K_V ” se relaciona con la capacidad máxima (K_{Vmax}) o mínima (k_{Vmin}) de flujo de la válvula, mediante las siguientes expresiones:

$$K_{Vmax} = 0,8 \cdot K_V \quad (6)$$

$$K_{Vmin} = 0,2 \cdot K_V \quad (7)$$

A un caudal de flujo medio, para una apertura de la válvula de un 50%, se define “ $K_{Vnormal}$ ”, que es la capacidad normal de flujo de la válvula.

$$K_V = 2 \cdot K_{Vnormal} \quad (8)$$

Estas relaciones, son las que idealmente convienen que se cumplan, pero no se cumplen en todos los casos.

La secuencia de cálculo seguida, es la siguiente:

- 1) A partir de la *Ecuación 5*, conocido el caudal máximo de flujo y la pérdida de carga a través de la válvula, se calcula “ K_{Vmax} ”
- 2) Conocido “ K_{Vmax} ”, a partir de las relaciones anteriores (*Ecuaciones 6 y 8*), se determinan “ K_V ” y “ $K_{Vnormal}$ ”.
- 3) Conocidas las pérdidas de carga producidas a lo largo de la instalación (*Anexos II y III*), se obtiene la pérdida de carga en la válvula de control a caudal mínimo, es decir:

$$\Delta P_{válvula (Qmin)} = P_{caldera} - (\Delta P_{tubería vapor} + \Delta P_{serpentín} + \Delta P_{tubería cond.}) \quad (9)$$

- 4) A partir de la *Ecuación 1*, conocido el caudal mínimo y la pérdida de carga, se calcula “ K_{Vmin} ”.
- 5) A partir de la siguiente expresión se determina el porcentaje de apertura de la válvula en cada caso.

$$\%Apertura = \frac{K_V}{K_V} \cdot 100 \quad (10)$$

A continuación se procede al cálculo, a caudal máximo $W_{\max} = 2728,41 \text{ kg/h}$:

1) Se calcula “ $K_{V\max}$ ” a partir de la *Ecuación 5*, sustituyendo la *Ecuación 2* y 3:

$$K_{V\max} = \frac{2728,41 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{27,3 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{1,40}{3 \cdot 1,37 \cdot 4,632 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}\right) \cdot \sqrt{0,7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 2,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 78,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La presión ascendente (p_1) se obtiene de restar la presión de la caldera menos la pérdida de presión dada en la línea de vapor antes de llegar a la válvula de control y la suma de la pérdida de presión a través de la válvula. La *Tabla A-IV 2.4* muestra el cálculo de la pérdida de carga en la línea de vapor antes de llegar a la válvula de control.

$$p_1 = 4 - 0,068 + 0,7 = 4,632 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

LÍNEA DE VAPOR (6") ANTES DE V.C			
		Lequivalente (m)	
Accesorio	unidad	unidad	total
Válvula de bloqueo	5	2	10
T paso recto	2	3	6
T paso lateral	1	9,1	9,1
codo 90	5	4,5	22,5
Total (m)		47,6	
$\Delta P_{\text{accesorios}}$		49,96	m
$\Delta P_{\text{accesorios}}$		0,013	kg/cm ²
$\Delta P_{\text{tubería recta}}$		0,055	kg/cm ²
ΔP_{TOTAL}		0,068	kg/cm ²

TABLA A-IV 2.4: CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CARGA EN LA LÍNEA DE VAPOR ANTES DE LA VÁLVULA DE CONTROL.

2) A partir de las *Ecuaciones 6* y 8, se determinan “ K_V ” y “ $K_{V\text{normal}}$ ”.

$$K_V = \frac{K_{V\max}}{0,8} = \frac{78,90}{0,8} = 98,62 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$K_{Vnormal} = \frac{K_V}{2} = \frac{98,62}{2} = 49,31 \frac{m^3}{h}$$

3) Aplicando la Ecuación 9:

$$\Delta P_{válvula (Wmin)} = 4 - (0,774 + 1,860 + 0,065) = 1,301 \frac{kg}{cm^2}$$

4) Antes de aplicar la Ecuación 1 se debe de conocer el valor de la presión ascendente.

$$p_1 = 4 - 0,068 + 1,301 = 5,233 \frac{kg}{cm^2}$$

$$K_{Vmin} = \frac{165,06 \frac{kg}{h}}{27,3 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{1,40}{3 \cdot 1,37 \cdot 5,233 \frac{kg}{cm^2}} \right) \cdot \sqrt{1,301 \frac{kg}{cm^2} \cdot 2,67 \frac{kg}{m^3}}} = 3,45 \frac{m^3}{h}$$

5) A partir de la Ecuación 10:

$$\%Apertura (K_{Vmax}) = \frac{K_{Vmax}}{K_V} \cdot 100 = \frac{78,90}{98,62} \cdot 100 = 80\%$$

$$\%Apertura (K_{Vmin}) = \frac{K_{Vmin}}{K_V} \cdot 100 = \frac{3,45}{98,62} \cdot 100 = 3,50\%$$

$$\%Apertura (K_{Vnormal}) = \frac{K_{Vnormal}}{K_V} \cdot 100 = \frac{49,31}{98,62} \cdot 100 = 50\%$$

$$\%Apertura (K_V) = \frac{K_V}{K_V} \cdot 100 = \frac{98,62}{98,62} \cdot 100 = 100\%$$

La Tabla A-IV 2.5 muestra los resultados obtenidos.

Coficiente de flujo	Valor (m ³ /h)	% Apertura
K_Vmáx.	78,90	80
K_Vmin.	3,45	3,5
K_Vnormal	49,31	50
K_V	98,62	100

TABLA A-IV 2.5: TABLA DE RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CV PARA FLUJO DE VAPOR.

3 PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Para conocer la pérdida de carga total del sistema de calefacción es necesario tener en cuenta además de las producidas en la válvula de control, las pérdidas de carga en el serpentín y en el sistema de tuberías, determinadas en el *Anexo II* y *III* respectivamente.

La *Tabla A-IV 3.1*, muestra los resultados finales.

PÉRDIDA DE CARGA (kg/cm ²)	
Serpentín	1,86
Tuberías	0,139
Válvula de control	0,7
TOTAL del sistema de calefacción	2,70

TABLA A-IV 3.1: PÉRDIDA DE CARGA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE VAPOR

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR
PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL
ANEXO V: ESTUDIO DE RENTABILIDAD DE COMBUSTIBLE

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	196
2	NECESIDAD ANUAL DE ENERGÍA (NE)	197
3	ESTUDIO DE RENTABILIDAD.....	198
3.1	COMPARATIVA GO C/GN	198
3.2	COMPARATIVA MEZCLA / GO C/ GN	199
4	CONCLUSIÓN	204

1 INTRODUCCIÓN

Se realiza a continuación un estudio de cuál de los combustibles disponibles es mas propicio para la instalación. Para ello se ha de determinar cuál la necesidad energética anual del sistema de calefacción de vapor.

La caldera puede ir a GO C, GN o con ambos (intercambiables), también se considera la posibilidad de emplear el FAME producido en planta en mezcla con el GO C.

En primer lugar, se estudia cuál de los combustibles, GN o GO C, es el más rentable y a continuación se incorpora al estudio la rentabilidad de mezclar el propio FAME fabricado en planta con el GO C (comparando el precio de esta mezcla con el precio del GO C y el de GN).

2 NECESIDAD ANUAL DE ENERGÍA (NE)

La necesidad anual de energía, se determina de la siguiente manera:

$$NE = Q_T \cdot \frac{N^{\circ} \text{tanques}}{\text{año}} \quad (1)$$

siendo:

Q_T : es el consumo total de energía en el sistema de calefacción, en kilocalorías (kcal).

$N^{\circ} \text{tanques/año}$: es el número de tanques empelados al año (50 tanques/año).

El consumo total de energía del sistema de calefacción de vapor se calcula mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$Q_T = m_{vt} \cdot \lambda_v \cdot t \quad (2)$$

recordando del *Anexo I* los términos de la expresión:

m_{vt} : caudal de vapor total a suministrar por el sistema, en kilogramos hora (2893,47 kg/h).

η : eficacia del proceso, igual a la unidad ya que se considera condensación total.

λ_v : calor latente de vaporización del agua en kilocalorías por kilogramos. Para condiciones de 150°C de temperatura y 4 kg/cm² de presión, equivale a 500 kcal/kg.

t : tiempo disponible para el vaciado y calentamiento de los tanques, en horas (86,6 h).

Sustituyendo los datos conocidos en la *Ecuación 2*:

$$Q_{tv} = 2893,47 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot 86,6 \text{h} = 125.287.251 \text{ kcal}$$

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 1*:

$$NE = 125.287.251 \text{ kcal} \cdot 50 \frac{\text{tanque}}{\text{año}} = 6,26 \cdot 10^{+9} \frac{\text{kcal}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{860 \text{ kcal}} = 7,28 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Se obtiene que la necesidad energética anual es de **7,28·10⁶ kWh**

3 ESTUDIO DE RENTABILIDAD

3.1 Comparativa GO C/GN

El coste anual del GN se calcula mediante la siguiente formula suministrada por Gas Natural S.D.G.(orden ITC/2857/2008).

$$C_{\text{anual GN}} (\text{€}) = (1,0188 + 0,001478 \cdot P_{(\text{GO A})} + 0,002497 \cdot P_{(\text{FO})}) \cdot \frac{1}{\text{Paridad}} + 0,3174 \cdot \frac{NE}{100} + 4,8055 \cdot \frac{NE}{365} \cdot \frac{12}{100} \quad (3)$$

donde:

$P_{(\text{GO A})}$: es el precio del gas-oil de automoción en \$/TM. (934 \$/TM).

$P_{(\text{FO})}$: es el precio del fuel-oil en \$/TM. (621 \$/TM).

NE: es la necesidad energética anual, en kilowatios hora ($7,28 \cdot 10^6$ kWh/año).

Paridad (€/€) = 0,75

Sustituyendo en la *Ecuación 3*:

$$\begin{aligned} C_{\text{anual GN}} (\text{€}) &= (1,0188 + 0,001478 \cdot 934 \text{ $/TM} + 0,002497 \cdot 621 \text{ $/TM}) \cdot \frac{1}{0,75} \\ &+ 0,3174 \cdot \frac{7,28 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{100} + 4,8055 \cdot \frac{7,28 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{365} \cdot \frac{12}{100} \\ &= 418.154,24 \text{ €/año} \end{aligned}$$

El coste anual del GO C se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{\text{anual GO C}} (\text{€}) = \frac{NE}{PCI_{\text{GO C}}} \cdot P_{(\text{GO C})} \quad (4)$$

Siendo:

Precio GO C : precio del gas-oil de calefacción, en euros el metro cúbico (527€/m^3).

$PCI_{\text{GO C}}$: poder calorífico inferior del gas-oil de calefacción, en kilocalorías por metro cúbico ($8.670.000 \text{ kcal/m}^3$).

NE: es la necesidad energética anual, en kilocalorías por hora ($6,26 \cdot 10^9 \text{ kWh/año}$).

Sustituyendo datos en la *Ecuación 4*:

$$C_{\text{anual GO C}} (\text{€}) = \frac{6,26 \cdot 10^9 \frac{\text{kcal}}{\text{año}}}{8.670.000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}} \cdot 527 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 380.620,44 \text{ €/año}$$

Mediante la *Ecuación 5* se determina la rentabilidad de emplear un combustible 1 frente a un combustible 2.

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{C_{\text{anual 2}} - C_{\text{anual 1}}}{C_{\text{anual 2}}} \cdot 100 \quad (5)$$

Siendo:

$C_{\text{anual 1}}$: coste anual del combustible 1, en euros.

$C_{\text{anual 2}}$: coste anual del combustible 2, en euros.

Empleando la *Ecuación 5* para determinar la rentabilidad de emplear GO C frente al GN.

$$\begin{aligned} \text{Rentabilidad (\%)} &= \frac{C_{\text{anual GN}} - C_{\text{anual GO C}}}{C_{\text{anual GN}}} \cdot 100 \\ &= \frac{418.154,24 - 380.620,44}{418.154,24} \cdot 100 = 8,98\% \end{aligned}$$

La rentabilidad de emplear GO C frente al GN es del **8,98 %**.

3.2 Comparativa MEZCLA / GO C/ GN

A continuación, se incorpora al estudio, la posibilidad de mezclar el FAME producido en planta, con el GO C, es decir, se trata de ver al 5%, al 10%, al 15%, etc. de mezcla (todas en base volumétrica), teniendo en cuenta el coste de fabricación del FAME y comparar el resultado con el precios del GO C y con el precio del GN.

Los datos de PCI, densidad y precio de la mezcla se obtienen de realizar la siguiente operación:

$$A_{\text{MEZCLA}} = \frac{\% \text{Mezcla} \cdot A_{\text{FAME}} + (100 - \% \text{Mezcla}) \cdot A_{\text{GO C}}}{100} \quad (6)$$

Siendo “A” cualquiera de los datos (PCI, densidad o precio) que se quiera obtener.

Los datos necesarios para el cálculo se describen a continuación:

$P_{(FAME)}$: precio del FAME, en euros el metro cúbico (105,60 €/m³).

PCI_{FAME} : poder calorífico inferior del FAME, en kilocalorías por metro cúbico (7.896.000 kcal/m³).

ρ_{FAME} : densidad del FAME, en kilogramos por metro cúbico (880 kg/m³).

$\rho_{GO C}$: densidad del gas-oil de calefacción, en kilogramos por metro cúbico (800 kg/m³).

A modo de ejemplo se realizan los cálculos para las primeras mezclas (FAME más GO C). A continuación, la *Tabla A-V 5.1* muestra los resultados obtenidos.

► Para una mezcla del 5%

Empleando la *Ecuación 6*:

a) Cálculo de PCI de la mezcla

$$\begin{aligned} PCI_{MEZCLA\ 5\%} &= \frac{\%Mezcla \cdot PCI_{FAME} + (100 - \%Mezcla) \cdot PCI_{GO\ C}}{100} \\ &= \frac{5 \cdot 7.896.000 + (100 - 5) \cdot 8.670.000}{100} = 8.631.300 \frac{kcal}{m^3} \end{aligned}$$

b) Cálculo de la densidad de la mezcla

$$\begin{aligned} \rho_{MEZCLA\ 5\%} &= \frac{\%Mezcla \cdot \rho_{FAME} + (100 - \%Mezcla) \cdot \rho_{GO\ C}}{100} \\ &= \frac{5 \cdot 880 + (100 - 5) \cdot 800}{100} = 804 \frac{kg}{m^3} \end{aligned}$$

c) Cálculo del Precio de la mezcla

$$\begin{aligned} P_{MEZCLA\ 5\%} &= \frac{\%Mezcla \cdot P_{(FAME)} + (100 - \%Mezcla) \cdot P_{(GO\ C)}}{100} \\ &= \frac{5 \cdot 105,6 + (100 - 5) \cdot 527,0}{100} = 505,93 \frac{€}{m^3} \end{aligned}$$

d) Cálculo del coste anual de la mezcla. Se determina al igual que la *Ecuación 4*.

$$C_{anual\ MEZCLA\ 5\%} (\text{€}) = \frac{NE}{PCI_{MEZCLA}} \cdot P_{(MEZCLA)} = \frac{6,26 \cdot 10^9 \frac{kcal}{año}}{8.631.300 \frac{kcal}{m^3}} \cdot 505,93 \frac{\text{€}}{m^3}$$

$$= 367.041,20 \text{ €/año}$$

e) Rentabilidad Mezcla/GO C. Se determina mediante la *Ecuación 5*.

$$Rentabilidad (\%) = \frac{C_{GO} - C_{MEZCLA\ 5\%}}{C_{GO}} \cdot 100 = \frac{380.620,44 - 367.041,20}{380.620,44} \cdot 100$$

$$= 3,6 \%$$

f) Rentabilidad Mezcla/GN.

$$Rentabilidad (\%) = \frac{C_{GN} - C_{MEZCLA\ 5\%}}{C_{GN}} \cdot 100 = \frac{418.154,24 - 367.041,20}{418.154,24} \cdot 100$$

$$= 12,2 \%$$

► Para una mezcla del 10%

Empleando la *Ecuación 6*:

a) Cálculo de PCI de la mezcla

$$PCI_{MEZCLA\ 10\%} = \frac{10 \cdot 7.896.000 + (100 - 10) \cdot 8.670.000}{100} = 8.592.600 \frac{kcal}{m^3}$$

b) Cálculo de la densidad de la mezcla

$$\rho_{MEZCLA\ 10\%} = \frac{10 \cdot 880 + (100 - 10) \cdot 800}{100} = 808 \frac{kg}{m^3}$$

c) Cálculo del Precio de la mezcla

$$P_{MEZCLA\ 10\%} = \frac{10 \cdot 105,6 + (100 - 10) \cdot 527,0}{100} = 484,90 \frac{\text{€}}{m^3}$$

d) Cálculo del coste anual de la mezcla. Se determina mediante la *Ecuación 8*.

$$C_{anual\ MEZCLA\ 10\%} (\text{€}) = \frac{6,26 \cdot 10^9 \frac{kcal}{año}}{8.592.600 \frac{kcal}{m^3}} \cdot 484,90 \frac{\text{€}}{m^3} = 353.339,63 \text{ €/año}$$

e) Rentabilidad Mezcla/GO C. Se determina mediante la *Ecuación 5*.

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{380.620,44 - 353.339,63}{380.620,44} \cdot 100 = 7,2 \%$$

f) Rentabilidad Mezcla/GN.

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{418.154,24 - 353.339,63}{418.154,24} \cdot 100 = 15,5 \%$$

► **Para una mezcla del 15%.**

Empleando la *Ecuación 6*:

a) Cálculo de PCI de la mezcla

$$PCI_{MEZCLA\ 15\%} = \frac{15 \cdot 7.896.000 + (100 - 15) \cdot 8.670.000}{100} = 8.553.900 \frac{kcal}{m^3}$$

b) Cálculo de la densidad de la mezcla

$$\rho_{MEZCLA\ 15\%} = \frac{15 \cdot 880 + (100 - 15) \cdot 800}{100} = 812 \frac{kg}{m^3}$$

c) Cálculo del Precio de la mezcla

$$P_{MEZCLA\ 15\%} = \frac{15 \cdot 105,6 + (100 - 15) \cdot 527,0}{100} = 463,80 \frac{\text{€}}{m^3}$$

d) Cálculo del coste anual de la mezcla. Se determina mediante la *Ecuación 8*.

$$C_{anual\ MEZCLA\ 15\%} (\text{€}) = \frac{6,26 \cdot 10^9 \frac{kcal}{año}}{8.553.900 \frac{kcal}{m^3}} \cdot 463,80 \frac{\text{€}}{m^3} = 339.514,10 \text{ €/año}$$

e) Rentabilidad Mezcla/GO C. Se determina mediante la *Ecuación 5*.

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{380.620,44 - 339.514,10}{380.620,44} \cdot 100 = 10,8 \%$$

f) Rentabilidad Mezcla/GN.

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{418.154,24 - 339.514,10}{418.154,24} \cdot 100 = 18,8 \%$$

La Tabla A-V 5.1, muestra los resultados obtenidos:

DATOS DEL FAME					RENTABILIDAD DEL FAME (%)	
%	PCI (kcal/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Precio (€/m ³)	Coste anual (€/año)	GO C	GN
5	8.631.300	804	505,93	367.041,19	3,6	12,2
10	8.592.600	808	484,90	353.339,63	7,2	15,5
15	8.553.900	812	463,80	339.514,08	10,8	18,8
20	8.515.200	816	442,72	325.562,87	14,5	22,1
25	8.476.500	820	421,65	311.484,27	18,2	25,5
30	8.437.800	824	400,60	297.276,53	21,9	28,9
35	8.399.100	828	379,51	282.937,85	25,7	32,3
40	8.360.400	832	358,44	268.466,44	29,5	35,8
45	8.321.700	836	337,40	253.860,42	33,3	39,3
50	8.283.000	840	316,30	239.117,91	37,2	42,8
55	8.244.300	844	295,23	224.237,00	41,1	46,4
60	8.205.600	848	274,20	209.215,73	45,0	50,0
65	8.166.900	852	253,1	194.052,09	49,0	53,6
70	8.128.200	856	232,02	178.744,06	53,0	57,3
75	8.089.500	860	210,95	159.069,8	57,1	60,9
80	8.050.800	864	189,90	143.869,9	61,2	64,7
85	8.012.100	868	168,81	128.523,2	65,3	68,4
90	7.973.400	872	147,74	113.027,6	69,5	72,3
95	7.934.700	876	126,70	97.380,7	73,7	76,1
100	7.896.000	880	105,60	81.580,5	78,0	80,0

TABLA A-V 0.1: ESTUDIO DE RENTABILIDAD MEZCLA FAME+GO C/GO C/GN

4 Conclusión

Comparando el GO C frente al GN, se llega a la conclusión de que el primero de ellos es más rentable (aproximadamente un 9 %).

La utilización única de FAME como fuente de energía sería la solución más rentable. No obstante, aún esta por estudiar y en la actualidad no se emplea solo sino con mezclas con GO.

En el presente proyecto la fuente de energía a emplear es GN, según requisitos del cliente. La elaboración de este estudio, tiene lugar por petición del mismo, con el objeto de emplear, para futuros suministros del sistema de calefacción de vapor, mezclas del GO C y FAME producido en planta, suponiendo un ahorro económico y estando a favor del medio ambiente.

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR
PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL

ANEXO VI: TABLAS Y GRÁFICAS

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

INDICE

1	TABLA 1: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS GASES [29].....	206
2	TABLA 2: CONSTANTES “N” Y “C” [29]	207
3	TABLA 3: AISLANTES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN [29]	207
4	TABLA 4: COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR Y ÁREA EQUIVALENTE [10] 208	
5	TABLA 5: COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA SERPENTINES SUMERGIDOS EN LÍQUIDOS [10]	209
6	TABLA 6: RADIO DE CODOS DE 90º [36]	210
7	TABLA 7: FACTORES FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA [2]	211
8	TABLA 8: VELOCIDAD/PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍA	211
9	TABLA 9: DIÁMETROS DE TUBERÍAS Y ESPESORES [2]	212
10	TABLA 10: TENSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE (ASME).....	214
11	NOMOGRAMA 1: NÚMERO DE REYNOLDS PARA FLUJO COMPRESIBLE. FACTOR DE FICCIÓN PARA TUBERÍAS LIMPIAS DE ACERO [2].....	215
12	NOMOGRAMA 2: NÚMERO DE REYNOLDS PARA FLUJO LÍQUIDO. FACTOR DE FICCIÓN PARA TUBERÍAS LIMPIAS DE ACERO [2]	216
13	TABLA 11: LONGITUD EQUIVALENTES DE VÁLVULAS.....	217
14	TABLA 12: LONGITUD EQUIVALENTE DE CODOS, TES, SALIDAS Y ENTRADAS DE DEPÓSITOS 218	
15	TABLA 13: LONGITUD EQUIVALENTE DE AMPLIACIONES Y REDUCCIONES.....	219

1 TABLA 1: Propiedades termodinámicas de los gases [29]

TABLA G-1
Aire seco a la presión atmosférica

Temperatura		Densidad	Coefficiente de dilatación térmica	Calor específico	Conductividad térmica	Difusividad térmica	Viscosidad absoluta	Viscosidad cinemática	Número de Prandtl	
T		ρ	$\beta \times 10^3$	c_p	k	$\alpha \times 10^6$	$\mu \times 10^6$	$\nu \times 10^6$	Pr	$\frac{g\beta}{\nu^2} \times 10^{-8}$
K	°C	(kg/m ³)	(1/K)	(J/kg · K)	(W/m · K)	(m ² /s)	(N · s/m ²)	(m ² /s)		(1/K · m ³)
273	0	1,252	3,66	1 011						
293	20	1,164	3,41	1 012	0,0251	22,0	18,240	15,7	0,71	1,36
313	40	1,092	3,19	1 014	0,0265	24,8	19,123	17,6	0,71	1,01
333	60	1,025	3,00	1 017	0,0279	27,6	19,907	19,4	0,71	0,782
353	80	0,968	2,83	1 019	0,0293	30,6	20,790	21,5	0,71	0,600
373	100	0,916	2,68	1 022	0,0307	33,6	21,673	23,6	0,71	0,472
473	300	0,723	2,11	1 035	0,0370	49,7	25,693	35,5	0,71	0,164
573	300	0,596	1,75	1 047	0,0429	68,9	39,322	49,2	0,71	0,0709
673	400	0,508	1,49	1 059	0,0485	89,4	32,754	64,6	0,72	0,0350
773	500	0,442	1,29	1 076	0,0540	113,2	35,794	81,0	0,72	0,0193
1 273	1 000	0,268	0,79	1 139	0,0762	240	48,445	181	0,74	0,00236

Fuente de referencia: K. RAZNJEVIC, *Handbook of Thermodynamic Tables and Charts*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1976.

2 TABLA 2: Constantes “n” y “C” [29]

TABLA 5.2
Constantes a utilizar con la ecuación 5.26

$Re_{D,f}$	C	n
0,4-4	0,989	0,330
4-40	0,911	0,385
40-4.000	0,683	0,466
4.000-40.000	0,193	0,618
40.000-400.000	0,0266	0,805

3 TABLA 3: Aislantes y materiales de construcción [29]

TABLA E-3
Aislantes y materiales de construcción

Material	Propiedades a 293 K o 200 °C			
	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m ² /s)
Amianto	383	816	0,113	0,036
Asfalto	2 120		0,698	
Baquelita	1 270		0,233	
Ladrillo:				
Común	1 800	840	0,38-0,52	0,028-0,034
al carborundum (50 % SiC)	2 200		5,82	
De magnesita (30 % MgO)	2 000		1,68	
Mampostería	1 700	837	0,658	0,045
De sílice (95 % SiO ₂)	1 900		1,07	
De zircón (62 % ZrO ₂)	3 600		2,44	
Cartón			0,14-0,35	
Cemento duro			1,045	
Arcilla (48,7 % humedad)	1 545	880	1,26	0,101
Carbón, atracción	1 370	1 260	0,238	0,013-0,015
Hormigón (seco)	500	837	0,128	0,049
Corcho, tableros	130	880	0,042	0,015-0,044
Corcho, expandido	120		0,036	
Tierra de diatomeas	466	879	0,126	0,031
Tierra arcillosa (28 % humedad)	1 500		1,51	
Tierra arenosa (8 % humedad)	1 500		1,05	
Fibra de vidrio	220		0,035	
Vidrio, ventana	2 800	800	0,81	0,034
Vidrio, lana de	50		0,037	
	100		0,036	
	200	670	0,040	0,028
Granito	2 750		3,0	
Hielo (0 °C)	913	1 830	2,22	0,124
Kapok	25		0,033	
Linóleo	535		0,081	
Mica	2 900		0,523	
Corteza de pino	342		0,080	
Yeso	1 800		0,814	
Flexiglas	1 180		0,195	
Madera, chapa	590		0,109	
Poliestireno	1 050		0,157	
Goma, buna	1 250		0,465	
Dura (ebonita)	1 150	2 009	0,163	0,0062
Espumosa	224		0,055	
Arena seca		0,582		

4 TABLA 4: Coeficiente global de transmisión de calor y área equivalente [10]

TABLE 11-1 Typical Values for Use with Eqs. (11-36) to (11-44)*			
Application	Fluid	U_r	A_r
Tanks on legs, outdoors, not insulated	Oil	3.7	$0.22 A_i + A_o + A_r$
	Water at 150°F.	5.1	$0.16 A_i + A_o + A_r$
Tanks on legs, outdoors, insulated 1 in.	Oil	0.45	$0.7 A_i + A_o + A_r$
	Water	0.43	$0.67 A_i + A_o + A_r$
Tanks on legs, indoors, not insulated	Oil	1.5	$0.53 A_i + A_o + A_r$
	Water	1.8	$0.35 A_i + A_o + A_r$
Tanks on legs, indoors, insulated 1 in.	Oil	0.36	$0.8 A_i + A_o + A_r$
	Water	0.37	$0.73 A_i + A_o + A_r$
Flat-bottom tanks,† outdoors, not insulated	Oil	3.7	$0.22 A_i + A_o + 0.43 D_i$
	Water	5.1	$0.16 A_i + A_o + 0.31 D_i$
Flat-bottom tanks,† outdoors, insulated 1 in.	Oil	0.36	$0.7 A_i + A_o + 3.9 D_i$
	Water	0.37	$0.16 A_i + A_o + 3.7 D_i$
Flat-bottom tanks, indoors, not insulated	Oil	1.5	$0.53 A_i + A_o + 1.1 D_i$
	Water	1.8	$0.35 A_i + A_o + 0.9 D_i$
Flat-bottom tanks, indoors, insulated 1 in.	Oil	0.36	$0.8 A_i + A_o + 4.4 D_i$
	Water	0.37	$0.73 A_i + A_o + 4.5 D_i$

*Based on typical coefficients.
†The ratio $(t - t_o)/(t - t_i)$ assumed at 0.85 for outdoor tanks. °C = (°F - 32)/1.8; to convert British thermal units per hour-square foot-degrees Fahrenheit to joules per square meter-second-kelvins, multiply by 5.6783.

5 TABLA 5: Coeficientes globales de transmisión de calor para serpentines sumergidos en líquidos [10]

TABLE 11-2 Overall Heat-Transfer Coefficients for Coils Immersed in Liquids
 U Expressed as $\text{Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$

Substance inside coil	Substance outside coil	Coil material	Agitation	U
Steam	Water	Lead	Agitated	70
Steam	Sugar and molasses solutions	Copper	None	50–240
Steam	Boiling aqueous solution			600
Cold water	Dilute organic dye intermediate	Lead	Turboagitator at 95 r.p.m.	300
Cold water	Warm water	Wrought iron	Air bubbled into water surrounding coil	150–300
Cold water	Hot water	Lead	0.40 r.p.m. paddle stirrer	90–360
Brine	Amino acids		30 r.p.m.	100
Cold water	25% oleum at 60°C.	Wrought iron	Agitated	20
Water	Aqueous solution	Lead	500 r.p.m. sleeve propeller	250
Water	8% NaOH		22 r.p.m.	155
Steam	Fatty acid	Copper (pancake)	None	96–100
Milk	Water		Agitation	300
Cold water	Hot water	Copper	None	105–180
60°F. water	50% aqueous sugar solution	Lead	Mild	50–60
Steam and hydrogen at 1500 lb./sq. in.	60°F. water	Steel		100–165
Steam 110–146 lb./sq. in. gage	Vegetable oil	Steel	None	23–29
Steam	Vegetable oil	Steel	Various	39–72
Cold water	Vegetable oil	Steel	Various	29–72

NOTES: Chilton, Drew, and Jebens [*Ind. Eng. Chem.*, 36, 510 (1944)] give film coefficients for heating and cooling agitated fluids using a coil in a jacketed vessel. Because of the many factors affecting heat transfer, such as viscosity, temperature difference, and coil size, the values in this table should be used primarily for preliminary design estimates and checking calculated coefficients.

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1.8$; to convert British thermal units per hour-square foot-degrees Fahrenheit to joules per square meter-second-kelvins, multiply by 5.6783.

6 TABLA 6: Radio de codos de 90° [36]

**Codos 90°
radio largo**
ASME/ANSI B 16.9

**Codos 90°
radio corto**
ASME/ANSI B 16.28

NW	Ø exterior	STD			XS		
		Espesor	Radio B	Peso	Espesor	Radio B	Peso
1/2"	21,3	2,77	38,1	0,077	3,73	0,100	
3/4"	26,7	2,87	28,6	0,077	3,91	0,100	
1"	33,4	3,38	38,1	0,154	4,55	0,195	
1.1/4"	42,2	3,56	47,6	0,263	4,85	0,340	
1.1/2"	48,3	3,68	57,2	0,376	5,08	0,481	
2"	60,3	3,91	76,2	0,676	5,54	0,907	
2.1/2"	73,0	5,16	95,3	1,33	7,01	1,73	
3"	88,9	5,49	114,3	2,08	7,62	2,78	
3.1/2"	101,6	5,74	133,4	2,92	8,08	3,96	
4"	114,3	6,02	152,4	3,95	8,56	5,40	
5"	141,3	6,55	190,5	6,67	9,52	9,34	
6"	168,3	7,11	228,6	10,4	10,97	15,5	
8"	219,1	8,18	304,8	20,9	12,70	31,3	
10"	273,0	9,27	381,0	37,0	12,70	49,4	
12"	323,9	9,52	457,2	54,0	12,70	71,2	
14"	355,6	9,52	533,4	69,9	12,70	91,6	
16"	406,4	9,52	609,6	91,2	12,70	120,2	
18"	457,2	9,52	685,8	116,1	12,70	153,3	
20"	508,0	9,52	762,0	143,8	12,70	190,1	
24"	609,6	9,52	914,4	207,7	12,70	274,9	
26"	660,4	9,52	990,6	244,5	12,70	323,4	
30"	762,0	9,52	1143,0	326,6	12,70	432,3	
36"	914,4	9,52	1371,6	471,7	12,70	626,0	
40"	1016,0	9,52	1524,0	590	12,70	794	
42"	1066,8	9,52	1600,2	644,1	12,70	852,7	
48"	1219,2	9,52	1828,8	907	12,70	1134	

RADIO B: IGUAL AL DEL STD.

NW	Ø exterior	STD			XS		
		Espesor	Radio B	Peso	Espesor	Radio B	Peso
1/2"	21,3	-	-	-	-	-	
3/4"	26,7	-	-	-	-	-	
1"	33,4	3,38	25,4	0,104	4,55	0,132	
1.1/4"	42,2	3,56	31,7	0,172	4,85	0,227	
1.1/2"	48,3	3,68	38,1	0,249	5,08	0,327	
2"	60,3	3,91	50,8	0,449	5,54	0,603	
2.1/2"	73,0	5,16	63,5	0,875	7,01	1,14	
3"	88,9	5,49	76,2	1,38	7,62	1,83	
3.1/2"	101,6	5,74	88,9	1,93	8,08	2,61	
4"	114,3	6,02	101,6	2,62	8,56	3,58	
5"	141,3	6,55	127,0	4,42	9,52	6,21	
6"	168,3	7,11	152,4	6,89	10,97	10,3	
8"	219,1	8,18	203,2	13,8	12,70	20,7	
10"	273,0	9,27	254,0	24,5	12,70	32,9	
12"	323,9	9,52	304,8	36,1	12,70	47,2	
14"	355,6	9,52	355,6	46,3	12,70	61,2	
16"	406,4	9,52	406,4	61,2	12,70	80,3	
18"	457,2	9,52	457,2	77,6	12,70	102,1	
20"	508,0	9,52	508,0	96,2	12,70	126,1	
24"	609,6	9,52	609,6	138,3	12,70	183,3	
26"	660,4	9,52	660,4	163,8	12,70	216,8	
30"	762,0	9,52	762,0	217,7	12,70	287,6	
36"	914,4	9,52	914,4	313,9	12,70	414,1	
40"	1016,0	9,52	1016,0	395,1	12,70	532,1	
42"	1066,8	9,52	1066,8	489,4	12,70	648,6	
48"	1219,2	9,52	1219,2	607,8	12,70	759,8	

RADIO B: IGUAL AL DEL STD.

Composicion quimica y propiedades mecanicas: ver pag. 63

Composición química y propiedades mecánicas: ver pág. 63.

7 TABLA 7: Factores fricción para tuberías comerciales, nuevas, de acero, con flujo en la zona de total turbulencia [2]

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300-400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_f)	0,027	0,025	0,023	0,022	0,021	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012

8 TABLA 8: Velocidad/Pérdida de carga en tubería

<u>Vapores y gases</u>				
<u>Pérdida de carga ΔP (kg/cm²/100 m)</u>				
<u>kg/cm²a</u>	<u>Aspiración compresor</u>	<u>>240 m</u>	<u>100-240 m</u>	<u>≤100 m</u>
≤0,014	0,0023			
0,014-0,4	0,007	0,0023	0,005	0,01
0,7	0,011	0,005	0,01	0,014
1,03	0,018	0,007	0,014	0,02
1,35-2,8	0,023	0,010	0,020	0,030
2,8-4,5	0,050	0,018	0,037	0,055
4,5-8	0,070	0,030	0,060	0,090
8-15	0,070	0,053	0,11	0,16
15-22	0,070	0,10	0,20	0,30
22-29	0,070	0,15	0,28	0,44
>29	0,070	0,18	0,38	0,58

9 TABLA 9: Diámetros de tuberías y espesores [29]

TABLA 10.18. Propiedades de tuberías de acero

Tamaño nominal de tubería, in	Diámetro externo, in	Número de cédula	Espesor de pared, in	Diámetro interno, in	Área de la sección transversal		Circunferencia, ft, o superficie, ft ² , de longitud		Capacidad a una velocidad de 1 ft/s		Peso de tubería de extremos lisos, lb/ft
					Metal, in ²	Flujo, ft ²	Externo	Interno	U.S., gal/min	lb/h de agua	
1/8	0.405	10S	0.049	0.307	0.053	0.00051	0.106	0.0804	0.231	115.5	0.19
		40S1 40S	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80XS 80S	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
1/4	0.540	10S	0.065	0.410	0.097	0.00092	0.141	0.107	0.412	206.5	0.33
		40S1 40S	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80XS 80S	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
3/8	0.675	10S	0.065	0.545	0.125	0.00162	0.177	0.143	0.727	363.5	0.42
		40S1 40S	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80XS 80S	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
1/2	0.840	5S	0.065	0.710	0.158	0.00275	0.220	0.186	1.234	617.0	0.54
		10S	0.083	0.674	0.197	0.00248	0.220	0.176	1.112	556.0	0.67
		40S1 40S	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80XS 80S	0.147	0.546	0.330	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
		160	0.188	0.464	0.385	0.00117	0.220	0.122	0.527	263.5	1.31
		XX	0.294	0.252	0.504	0.00035	0.220	0.066	0.155	77.5	1.71
3/4	1.050	5S	0.065	0.920	0.201	0.00461	0.275	0.241	2.072	1,036.0	0.69
		10S	0.083	0.884	0.252	0.00426	0.275	0.231	1.903	951.5	0.86
		40S1 40S	0.113	0.824	0.335	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80XS 80S	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
		160	0.219	0.612	0.572	0.00204	0.275	0.160	1.047	528.5	1.94
		XX	0.308	0.434	0.718	0.00103	0.275	0.134	1.461	290.5	2.44
1	1.315	5S	0.065	1.185	0.255	0.00768	0.344	0.310	3.449	1,725	0.87
		10S	0.109	1.097	0.413	0.00656	0.344	0.287	2.946	1,473	1.40
		40S1 40S	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1,345	1.68
		80XS 80S	0.179	0.937	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1,120	2.17
		160	0.250	0.815	0.836	0.00362	0.344	0.213	1.625	812.5	2.84
		XX	0.358	0.599	1.076	0.00196	0.344	0.157	0.878	439.0	3.66
1 1/4	1.660	5S	0.065	1.530	0.326	0.01277	0.435	0.401	5.73	2,865	1.11
		10S	0.109	1.442	0.531	0.01134	0.435	0.378	5.09	2,545	1.81
		40S1 40S	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2,285	2.27
		80XS 80S	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1,995	3.00
		160	0.250	1.160	1.107	0.00734	0.435	0.304	3.29	1,645	3.76
		XX	0.382	1.896	1.534	0.00438	0.435	0.235	1.97	985	5.21
1 1/2	1.900	5S	0.065	1.770	0.375	0.01709	0.497	0.463	7.67	3,835	1.28
		10S	0.109	1.682	0.614	0.01543	0.497	0.440	6.94	3,465	2.09
		40S1 40S	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3,170	2.72
		80XS 80S	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2,745	3.63
		160	0.281	1.338	1.429	0.00976	0.497	0.350	4.28	2,190	4.86
		XX	0.400	1.100	1.885	0.00660	0.497	0.288	2.96	1,480	6.41
2	2.375	5S	0.065	2.245	0.472	0.02749	0.622	0.588	12.34	6,170	1.61
		10S	0.109	2.157	0.776	0.02538	0.622	0.565	11.39	5,695	2.64
		40S1 40S	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5,225	3.65
		80S1 80S	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4,600	5.02
		160	0.344	2.687	2.195	0.01552	0.622	0.436	6.97	3,485	7.46
		XX	0.436	2.503	2.696	0.01232	0.622	0.393	5.53	2,765	9.03
2 1/2	2.875	5S	0.083	2.709	0.728	0.04003	0.753	0.709	17.97	8,985	2.48
		10S	0.120	2.635	1.039	0.03787	0.753	0.690	17.00	8,500	3.53
		40S1 40S	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7,460	5.79
		80XS 80S	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6,600	7.66
		160	0.375	2.125	2.943	0.02463	0.753	0.556	11.07	5,535	10.01
		XX	0.552	1.771	4.028	0.01711	0.753	0.464	7.68	3,840	13.69
3	3.500	5S	0.083	3.334	0.891	0.06063	0.916	0.873	27.21	13,605	3.03
		10S	0.120	3.260	1.274	0.05796	0.916	0.853	26.02	13,010	4.33
		40S1 40S	0.216	3.058	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11,500	7.58
		80XS 80S	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10,275	10.25
		160	0.438	2.624	4.213	0.03755	0.916	0.687	16.86	8,430	14.32
		XX	0.600	2.300	5.466	0.02885	0.916	0.602	12.95	6,475	18.58
3 1/3	4.0	5S	0.083	3.834	1.021	0.08017	1.047	1.004	35.98	17,990	3.48
		10S	0.120	3.760	1.463	0.07711	1.047	0.984	34.61	17,305	4.97
		40S1 40S	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15,400	9.11
		80XS 80S	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13,850	12.50

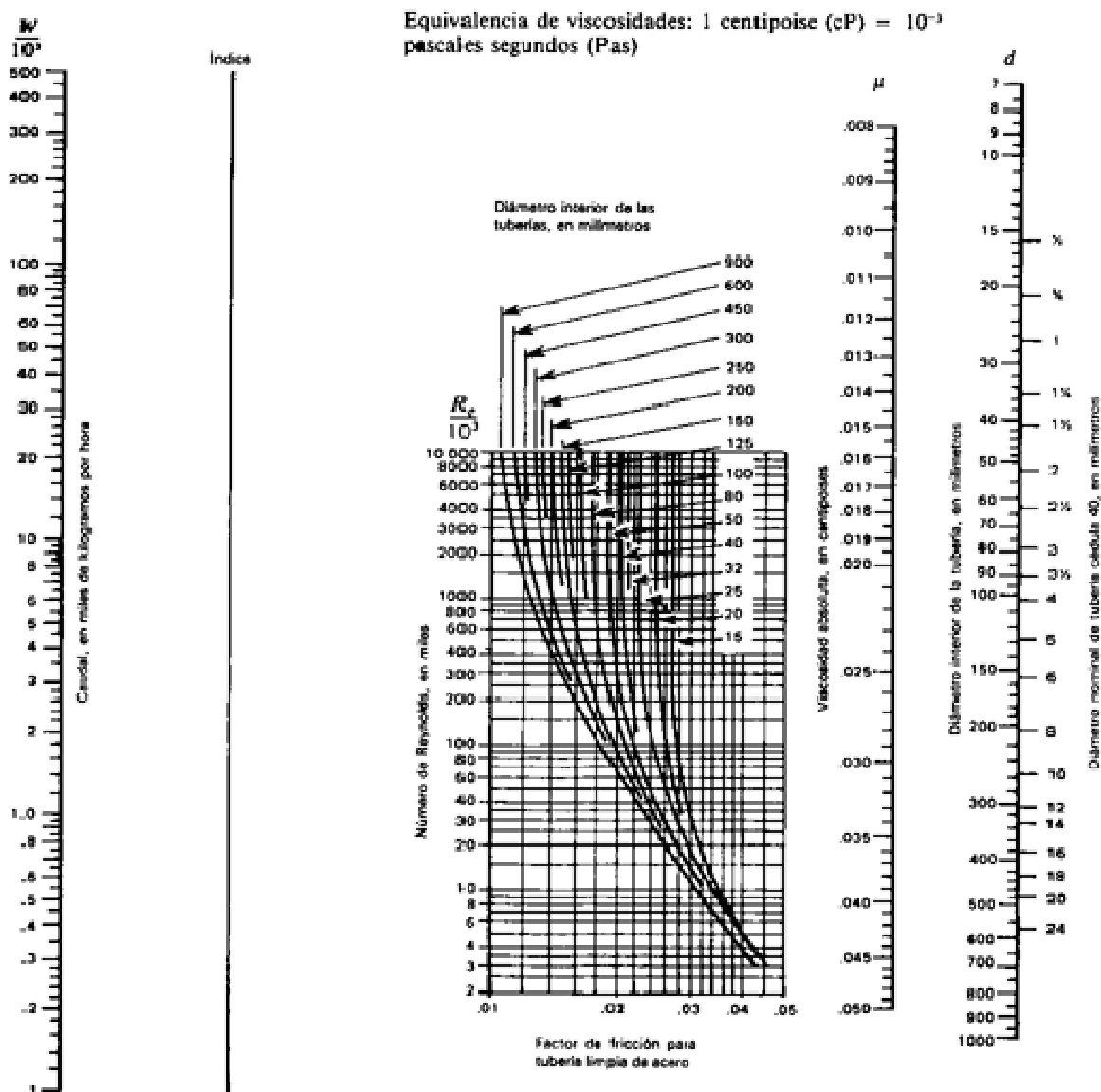
TABLA 10.18. Propiedades de tuberías de acero (Continuación)

Tamaño nominal de tubería, in	Diámetro externo, in	Número de cédula	Espesor de pared, in	Diámetro interno, in	Área de la sección transversal		Circunferencia, ft. o superficie, ft ² /ft. de longitud		Capacidad a una velocidad de 1 ft/s		Peso de tubería de extremos lisos, lb/ft
					Metal, in ²	Flujo, ft ³	Externo	Interno	U.S., gal/min	ft ³ de agua	
4	4.5	5S	0.083	4.334	1.152	0.10045	1.178	0.135	46.0	23.000	3.92
		10S	0.120	4.260	1.651	0.09898	1.178	1.115	44.4	22.200	5.61
		40SI 40S	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19.800	10.79
		80XS 80S	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17.900	14.98
		120	0.438	3.624	5.58	0.07170	1.178	0.949	32.2	16.100	19.00
		160	0.531	3.438	6.62	0.06647	1.178	0.900	28.9	14.450	22.51
5	5.563	XX	0.674	3.152	8.10	0.05419	1.178	0.825	24.3	12.150	27.54
		5S	0.109	5.345	1.87	0.1558	1.456	1.399	69.9	34.950	6.36
		10S	0.134	5.295	2.29	0.1529	1.456	1.386	68.6	34.300	7.77
		40SI 40S	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31.150	14.62
		80XS 80S	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28.850	20.78
		120	0.490	4.563	7.95	0.1136	1.456	1.195	51.0	25.500	27.04
6	6.625	160	0.625	4.313	9.70	0.1015	1.456	1.129	45.5	22.750	32.96
		XX	0.750	4.063	11.34	0.900	1.456	1.064	40.4	20.200	38.55
		5S	0.109	6.407	2.23	0.2239	1.734	1.677	100.5	50.250	7.60
		10S	0.134	6.357	2.73	0.2204	1.734	1.664	98.9	49.450	9.29
		40SI 40S	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45.000	18.97
		80XS 80S	0.412	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40.550	28.57
8	8.625	120	0.562	8.501	10.70	0.1650	1.734	1.440	73.9	36.950	36.99
		160	0.719	8.187	15.34	0.1467	1.734	1.358	65.9	32.950	45.34
		XX	0.864	4.897	15.64	0.1308	1.734	1.282	58.7	29.350	53.16
		5S	0.109	8.407	2.915	0.3855	2.258	2.201	173.0	86.500	9.93
		10S	0.148	8.329	3.941	0.3784	2.258	2.180	169.8	84.900	13.40
		20	0.250	8.125	6.578	0.3601	2.258	2.127	161.5	80.750	22.36
10	10.75	30	0.277	8.071	7.265	0.3553	2.258	2.113	159.4	79.700	24.70
		40SI 40S	0.322	7.981	8.399	0.3474	2.258	2.089	155.7	77.850	28.55
		60	0.406	7.815	10.48	0.3329	2.258	2.045	149.4	74.700	33.64
		80XS 80S	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71.150	42.99
		100	0.594	7.437	14.99	0.3017	2.258	1.947	135.4	67.700	50.95
		120	0.719	7.187	17.86	0.2817	2.258	1.882	126.4	63.200	60.71
12	12.75	140	0.812	7.001	19.93	0.2623	2.258	1.833	120.0	60.000	67.76
		XX	0.875	6.875	21.30	0.2578	2.258	1.800	115.7	57.850	72.42
		160	0.906	6.813	21.97	0.2532	2.258	1.784	113.5	56.750	74.69
		5S	0.134	10.482	4.47	0.5903	2.814	2.744	269.0	134.500	15.19
		10S	0.165	10.420	5.49	0.5922	2.814	2.728	265.8	132.900	18.65
		20	0.250	10.250	8.25	0.5731	2.814	2.685	257.0	128.500	28.04
14	14	30	0.307	10.136	10.07	0.5603	2.814	2.655	252.0	126.000	34.24
		40SI 40S	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123.000	40.48
		60XS 60XS	0.500	9.750	16.10	0.5185	2.814	2.550	233.0	116.500	54.74
		80	0.594	9.582	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111.700	64.43
		100	0.719	9.312	22.66	0.4729	2.814	2.438	212.3	106.150	77.03
		120	0.844	9.062	26.27	0.4479	2.814	2.372	201.0	100.500	89.29
12	12.75	140, XX	1.000	8.750	30.63	0.4176	2.814	2.291	188.0	94.000	104.13
		160	1.125	8.500	34.02	0.3941	2.814	2.225	177.0	88.500	115.64
		5S	0.156	12.438	6.17	0.8438	3.338	3.26	378.7	189.350	20.98
		10S	0.180	12.390	7.11	0.8373	3.338	3.24	375.8	187.900	24.17
		20	0.250	12.250	9.82	0.8185	3.338	3.21	367.0	183.500	33.38
		30	0.330	12.090	12.88	0.7972	3.338	3.17	358.0	179.000	43.77
14	14	SI 40S	0.375	12.000	14.58	0.7854	3.338	3.14	352.5	176.250	49.56
		40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174.500	53.52
		XS 80S	0.500	11.750	19.24	0.7530	3.338	3.08	338.0	169.000	65.42
		60	0.562	11.626	21.52	0.7372	3.338	3.04	331.0	165.500	73.15
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158.350	88.63
		100	0.844	11.062	31.57	0.6674	3.338	2.90	299.6	149.800	107.32
12	12.75	120 XX	1.000	10.750	36.91	0.6303	3.338	2.81	283.0	141.500	123.49
		140	1.125	10.500	41.09	0.6013	3.338	2.75	270.0	135.000	139.67
		160	1.312	10.126	47.14	0.5592	3.338	2.63	251.0	125.500	160.27
		5S	0.156	13.688	6.78	1.0219	3.665	3.58	459	229.500	23.07
		10S	0.188	13.624	8.16	1.0125	3.665	3.57	454	227.000	27.73
		20	0.250	13.500	10.80	0.9940	3.665	3.53	446	223.000	36.71
14	14	30	0.312	13.376	13.42	0.9750	3.665	3.50	438	219.000	45.61
		40	0.375	13.250	16.05	0.9575	3.665	3.47	430	215.000	54.57
		XS 40	0.438	13.124	18.66	0.9397	3.665	3.44	422	211.000	63.44
		XS 50	0.500	13.000	21.21	0.9218	3.665	3.40	414	207.000	72.09
		60	0.594	12.812	25.02	0.8957	3.665	3.35	402	201.000	83.05
		80	0.750	12.500	31.22	0.8522	3.665	3.27	382	191.000	106.13
12	12.75	100	0.938	12.124	38.49	0.8017	3.665	3.17	360	180.000	130.85
		120	1.094	11.812	44.36	0.7610	3.665	3.09	342	171.000	150.79
		140	1.250	11.500	50.07	0.7213	3.665	3.01	324	162.000	170.21
		160	1.406	11.188	55.63	0.6827	3.665	2.93	306	153.000	189.11

10 TABLA 10: Tensión máxima admisible (ASME)

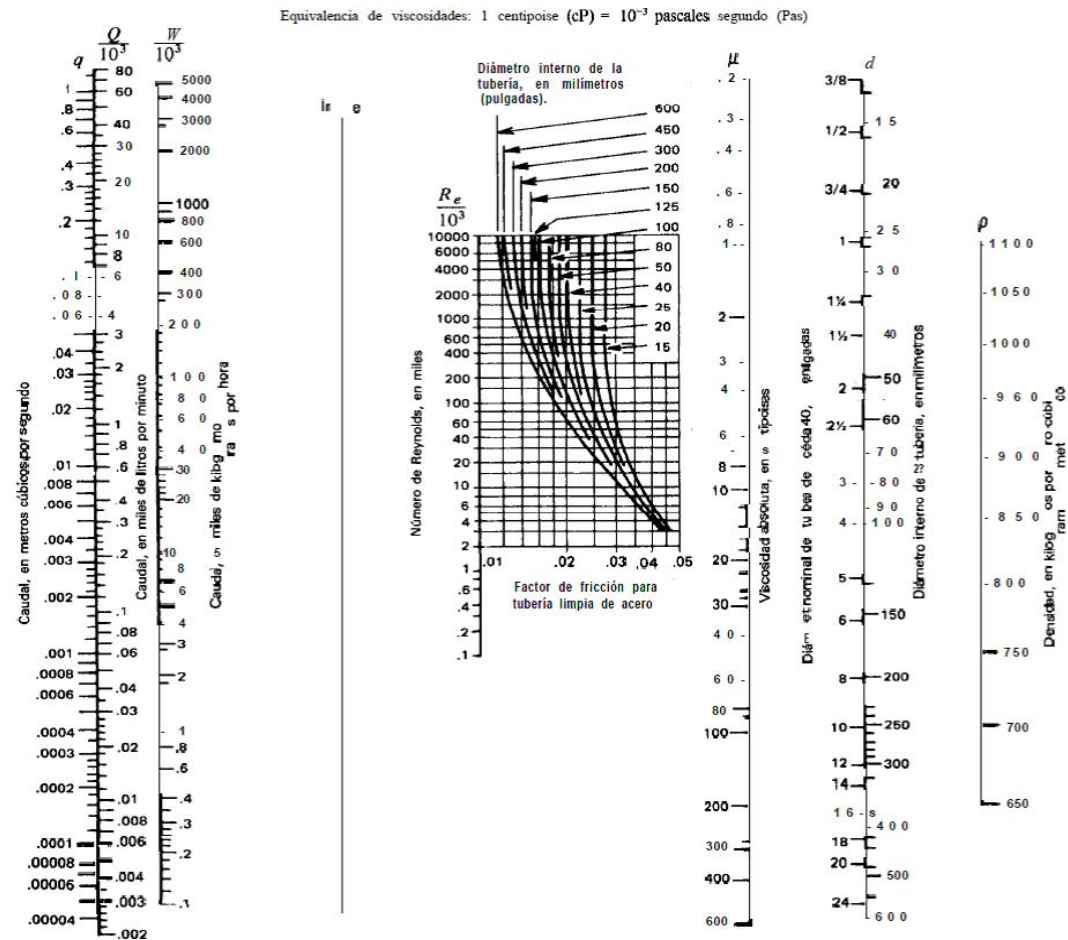
TABLE A-1 (CONT'D)										
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS ¹										
Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated										
Material	Spec. No.	P. No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp. to 100	200	300
						Tensile	Yield			
Carbon Steel										
Pipes and Tubes (2)										
A 285 Gr. A	A 134	1	...	(Bb) (57)	B	45	24	15.0	14.6	14.2
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	(57) (59) (67)	B	45	24	15.0	14.6	14.2
...	A 53	1	Type F	(Ba)	-20	45	25	15.0	15.0	14.5
Butt weld	API 5L	1	A25							
Smis & ERW	API 5L	1	A25	(57) (59)	B	45	25	15.0	15.0	14.5
...	A 179	1	...	(57) (59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2
...	A 139	1	A	(Bb)	A	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 587	1	...	(57) (59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 53	1	A	(57) (59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 106	1	A	(57)						
...	A 135	1	A	(57) (59)						
...	A 369	1	FPA	(57)						
...	API 5L	1	A	(57) (59)						
A 285 Gr. B	A 134	1	...	(Bb) (57)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
A 285 Gr. B	A 672	1	A50	(57) (59) (67)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
A 442 Gr. 55	A 671	1	CE55	(57) (67)	C	55	30	18.3	18.3	17.7
A 442 Gr. 55	A 672	1	E55							
A 285 Gr. C	A 134	1	...	(Bb) (57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 524	1	Gr. II	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 333	1	1	(57) (59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 334	1	1							
A 285 Gr. C	A 671	1	CA55	(59) (67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A 285 Gr. C	A 672	1	A55	(57) (59) (67)	A					
A 515 Gr. 55	A 672	1	B55	(57) (67)	B					
A 516 Gr. 55	A 672	1	C55	(57) (67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A 442 Gr. 60	A 671	1	CE60	(57) (67)	B					
A 516 Gr. 60	A 671	1	CC60	(57) (67)	C					
A 442 Gr. 60	A 672	1	E60	(57) (67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A 515 Gr. 60	A 671	1	CB60							
A 515 Gr. 60	A 672	1	B60	(57) (67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A 516 Gr. 60	A 672	1	C60	(57) (67)	C					
...	A 139	1	B	(Bb)	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 135	1	B	(57) (59)	B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 524	1	Gr. I	(57)						

11 NOMOGRAMA 1: Número de Reynolds para flujo compresible. Factor de fricción para tuberías limpias de acero [2]



12 NOMOGRAMA 2: Número de Reynolds para flujo líquido. Factor de fricción para tuberías limpias de acero

[2]



13 TABLA 11: Longitud equivalentes de válvulas

DIÁMETRO NOMINAL		LONGITUD EQUIVALENTE EN METROS SEGUN TIPO DE VÁLVULA									
(in)	(mm)	COMPUERTA	ASIENTO	ROCIOS	MEMBRANA	MARIPOSA	EN ANCHURA	DE BOLA	RETENCION	3 VÍAS	PASO
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	RECTO	LATERAL
1/2"	15	0,16	4,30	0,25	2,13	-	1,84	-	1,67	0,56	1,80
3/4"	20	0,25	6,50	0,35	3,20	-	2,70	-	2,50	0,85	2,70
1"	25	0,34	8,60	0,45	4,25	-	3,70	0,61	3,30	1,12	3,50
1 1/2"	40	0,50	13,00	0,70	6,40	1,65	5,50	0,61	5,00	1,68	5,30
2"	50	0,67	17,30	0,90	8,50	2,20	7,40	0,91	6,70	2,25	7,10
2 1/2"	65	0,84	21,60	1,14	10,60	2,75	9,20	1,52	8,30	3,80	3,90
3"	80	1,00	26,00	1,37	12,75	3,30	11,00	1,80	10,00	3,36	10,70
4"	100	1,34	34,50	1,80	17,00	4,40	14,70	2,10	13,30	4,50	14,22
5"	125	1,60	43,20	2,30	21,25	5,50	18,40	-	16,70	5,60	17,80
6"	150	2,00	51,80	2,75	25,50	6,60	22,00	7,00	20,00	6,70	21,30
8"	200	2,68	69,00	3,65	34,00	8,80	29,50	5,20	26,70	9,00	28,50
10"	250	3,40	86,40	4,60	42,50	11,00	36,80	5,50	33,30	11,20	35,50
12"	300	4,00	103,60	5,50	51,00	13,20	44,20	5,20	40,00	13,01	42,50
14"	350	4,70	121,00	-	59,50	15,40	51,50	-	46,70	-	-
16"	400	5,40	138,20	-	68,00	17,60	59,00	-	53,35	-	-
18"	450	6,00	155,50	-	76,50	19,75	66,30	-	60,00	-	-
20"	500	6,70	172,70	-	-	22,00	73,70	-	66,70	-	-
22"	550	7,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24"	600	8,00	207,00	-	-	26,13	88,40	-	80,00	-	-
26"	650	8,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28"	700	9,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30"	750	10,00	259,00	-	-	33,00	110,50	-	100,00	-	-
32"	800	10,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34"	850	11,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36"	900	12,00	311,00	-	-	39,50	132,50	-	120,00	-	-

14 TABLA 12: Longitud equivalente de codos, tes, salidas y entradas de depósitos

DIAMETRO NOMINAL		LONGITUD EQUIVALENTE EN METROS SEGUN TIPO DE ELEMENTO									
		90°	45°	90°	45°	90°	45°	TE PASO		DEPOSITO	
(in)	(mm)	R.CORTO (m)	R.CORTO (m)	R.LARGO (m)	R.LARGO (m)	MITRADO (m)	MITRADO (m)	RECTO (m)	LATERAL (m)	SALIDA (m)	ENTRADA (m)
1/2"	15	0,38	0,20	-	-	-	-	0,25	0,76	0,25	0,47
3/4"	20	0,57	0,30	-	-	-	-	0,38	1,14	0,39	0,78
1"	25	0,76	0,40	-	-	-	-	0,51	1,50	0,55	1,12
1 1/2"	40	1,14	0,60	-	-	-	-	0,76	2,30	0,92	1,85
2"	50	1,50	0,80	-	-	-	-	1,00	3,00	1,32	2,60
2 1/2"	65	1,90	1,00	-	-	-	-	1,27	3,80	1,75	3,50
3"	80	2,30	1,20	-	-	-	-	1,50	4,60	2,18	4,35
4"	100	3,00	1,60	-	-	5,90	1,50	2,00	6,00	3,00	6,20
5"	125	3,80	2,00	-	-	7,40	1,90	2,50	7,60	4,00	8,20
6"	150	4,50	2,40	-	-	8,40	2,30	3,00	9,10	5,15	10,27
8"	200	6,00	3,25	-	-	11,80	3,00	4,00	12,20	7,30	14,70
10"	250	7,60	4,00	-	-	14,70	3,30	5,00	15,20	9,70	19,32
12"	300	9,10	4,90	-	-	17,70	4,60	6,00	18,30	12,10	24,22
14"	350	10,70	5,70	-	-	20,60	5,30	7,00	21,30	14,65	29,30
16"	400	12,20	6,50	-	-	23,50	6,00	8,14	24,40	17,30	34,60
18"	450	13,70	7,30	-	-	26,50	6,90	9,16	27,40	20,00	40,00
20"	500	15,20	8,10	-	-	29,40	7,60	10,20	30,50	22,80	45,50
22"	550	-	-	-	-	32,00	8,40	-	-	-	-
24"	600	18,30	9,70	-	-	35,30	9,10	12,20	36,50	28,60	57,10
26"	650	-	-	-	-	38,30	9,90	-	-	-	-
28"	700	-	-	-	-	41,20	10,70	-	-	-	-
30"	750	23,00	12,20	-	-	44,20	11,40	15,30	45,70	37,55	76,30
32"	800	-	-	-	-	47,10	12,20	-	-	-	-
34"	850	-	-	-	-	50,00	12,95	-	-	-	-
36"	900	27,40	14,60	-	-	53,00	13,70	18,30	55,00	47,20	94,40

15 TABLA 13: Longitud equivalente de ampliaciones y reducciones

DIAMETRO NOM.		AMPLIACION A		LONG.EQUIV.	REDUCCION A		LONG.EQUIV.
(in)	(mm)	(in)	(mm)	(m)	(in)	(mm)	(m)
1/2"	15	3/4"	20	0,18	-	-	-
		1"	25	0,37	-	-	-
3/4"	20	1"	25	0,18	1/2"	15	0,15
		1 1/2"	40	0,50	-	-	-
1"	25	1 1/2"	40	0,37	1/2"	15	0,21
		2"	50	0,67	3/4"	20	0,18
1 1/2"	40	2"	50	0,40	3/4"	20	0,30
		3"	80	1,16	1"	25	0,27
2"	50	3"	80	0,82	1"	25	0,40
		4"	100	1,52	1 1/2"	40	0,40
3"	80	4"	100	0,91	1 1/2"	40	0,73
		5"	125	2,40	2"	50	0,70
		6"	150	2,43	-	-	-
4"	100	5"	125	1,00	2"	50	0,98
		6"	150	1,22	3"	80	0,91
		8"	200	3,65	-	-	-
		10"	250	4,57	-	-	-
5"	125	6"	150	0,67	3"	80	1,50
		8"	200	2,80	4"	100	1,20
		10"	250	4,27	-	-	-
6"	150	8"	200	2,13	3"	80	1,50
		10"	250	4,27	4"	100	1,20
		12"	300	5,79	-	-	-
		14"	350	6,71	-	-	-
8"	200	10"	250	1,83	4"	100	2,13
		12"	300	4,27	6"	150	2,13
		14"	350	6,71	-	-	-
		16"	400	8,23	-	-	-
10"	250	12"	300	1,98	4"	100	2,44
		14"	350	4,57	6"	150	2,90
		16"	400	7,00	8"	200	1,83
		18"	450	9,14	-	-	-
12"	300	14"	350	1,83	6"	150	3,66
		16"	400	4,37	8"	200	3,66
		18"	450	7,00	10"	250	1,98
		20"	500	9,14	-	-	-
14"	350	16"	400	2,13	6"	150	4,27
		18"	450	4,37	8"	200	4,27
		20"	500	6,40	10"	250	3,96
		-	-	-	12"	300	1,83
16"	400	18"	450	1,22	8"	200	5,18
		20"	500	3,96	10"	250	5,18
		-	-	-	12"	300	4,57
		-	-	-	14"	350	2,13
18"	450	20"	500	1,52	10"	250	5,79
		24"	600	7,62	12"	300	5,79
		-	-	-	14"	350	4,57
		-	-	-	16"	400	1,22
20"	500	24"	600	3,66	12"	300	7,00
		30"	750	5,13	14"	350	7,00
		-	-	-	16"	400	3,96
		-	-	-	18"	450	1,52
24"	600	30"	750	2,59	18"	450	7,62
		36"	900	8,22	20"	500	3,66
30"	750	36"	900	2,13	20"	500	6,00
		-	-	-	24"	600	4,75
36"	900	-	-	-	24"	600	7,43
		-	-	-	30"	750	5,00

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA
CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL

ANEXO VII: CATÁLOGOS

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

INDICE

1	INSTRUMENTACIÓN	221
1.1	TERMÓMETRO BIMETÁLICO	221
1.2	MANÓMETRO DE PRESIÓN	224
1.3	TRANSMISOR DE PRESIÓN	229
1.4	CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	232
1.5	CONTROLADOR DE PRESIÓN	233
2	ACCESORIOS	234
2.1	AISLAMIENTO: CAÑUELAS Y MANTAS DE LANA MINERAL DE ROCA	234
2.2	PURGADOR.....	237
2.3	VÁLVULA DE CONTROL	239
2.4	VÁLVULA DE COMPUERTA, DE GLOBO Y CHECK	244
3	CALDERA.....	249

1 INSTRUMENTACIÓN

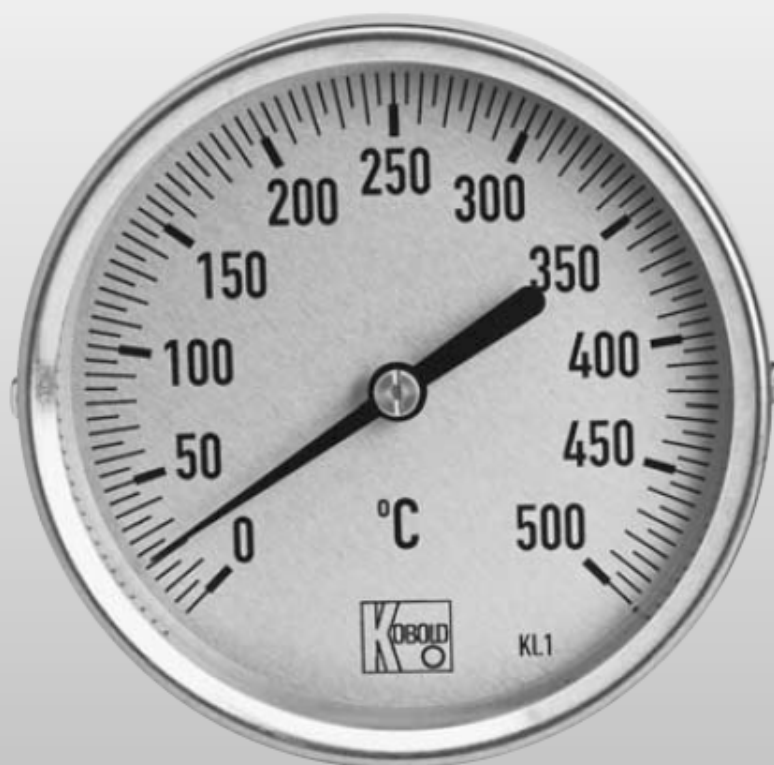
1.1 Termómetro Bimetálico

Termómetros Bimetálicos

para Aplicaciones Industriales, Clase de precisión 1



Medir
•
Monitorear
•
Analizar



- Tiempo de respuesta rápida
- Gran selección de versiones estándar
- Versiones especiales a petición del cliente
- Tamaños nominales: 63, 80, 100 y 160 mm
- Temperaturas: -30 a +50°C a 0 a +500°C

Las oficinas de KOBOLD existen en los siguientes países:

ARGENTINA, AUSTRIA, BELGICA, CANADA, CHINA,
FRANCIA, ALEMANIA, INGLATERRA, PAISES BAJOS,
POLONIA, ITALIA, SUIZA, USA, VENEZUELA

KOBOLD Messring GmbH
Nordring 22-24
D-65719 Hofheim/Ts.
☎ (06192) 299-0
Fax (06192) 23398
E-mail: info.de@kobold.com
Internet: www.kobold.com

Modelo:
TBI-L...
TBI-S...

9

Termómetros Bimetálicos con Conexión Enroscada Adecuado para Termopozos según DIN



Aplicación y Descripción

Los termómetros bimetálicos se utilizan en el sitio para la medida directa de la temperatura. Una amplia gama de versiones esta noares permite una variedad de aplicaciones. Además las versiones especiales se fabrican según especificación del cliente. El dispositivo es instalado directamente o atomillado en un termopozo según el DIN.

Método de Operación

El elemento de medida del termómetro bimetálico es una hélice bimetálica de respuesta rápida. Es fabricado a partir de dos tiras de metal soldadas en frío con diversos coeficientes térmicos de expansión, que se tuercen en función de temperatura. El movimiento rotatorio se transfiere con baja fricción a la punta indicadora.

Características

- Sistema bimetálico de alta calidad y baja fricción particularmente estable. Clase de precisión 1.
- Corto tiempo de amortiguación de temperatura, con adaptación optimizada del tubo protector al bulbo especial de metal liviano.
- Efectos de vibración reducida con elem. bimetálico endurecido protegido contra exceso de temperatura.
- Extremadamente sólido y cubierta fuerte.
- Perfecto y rápido sellado del punto de medición con rosca especialmente endurecida.



Detalles Técnicos:

Presión de operación permisible del termopozo:	max. 25 bar
Elemento de medición:	hélice metálica
Ángulo de la esfera:	aproximadamente 270°
Rango de aplicación:	continuo: rango de medición corte tiempo (< 1h): 1.1 rango de medición categoría 1 (según DIN 16203)
Precisión:	puntero de ajuste
Indicación de arreglo:	acero inoxidable 1.4301
Cuerpo:	abajo o centrado y azés
Conexión:	
Construcción de la conexión:	1/2 rosca macho
Inmersión probe:	Ø = 8 mm
Ventana:	vidriado instrumentos
Cara de la esfera:	aluminio de acabado mate con graduación fina, esfera e inscripción negra
Indicador:	aluminio negro, puntero de ajuste
Opcional:	escala doble °C/°F escalamiento °F puntero marcador de deslizamiento suave puntero máximo

Datos de pedido (Ejemplo: TBI-HRD 350-45 3G)

Modelo	Tam. nominal	Conexión	Rango de Medición	Long. (L1/L2)	Bulbo Material	Conexión
TBI-HRD..	63 mm	centro y atrás	..35...-30...+ 50°C, división 0.5°C	..045...= 45 mm"	..3...=ac. inox 1.4571	..G-G 1/2 AG
			..26...-20...+ 60°C, división 0.5°C	..063...= 63 mm"		
TBI-IRE..	80 mm		..06...= 0...+ 60°C, división 0.5°C	..100...= 100 mm"		
			..08...= 0...+ 80°C, división 0.5°C	..160...= 160 mm"		
TBI-IRF..	100 mm		..10...= 0...+ 100°C, división 1°C	..250...= 250 mm"		
		abajo	..12...= 0...+ 120°C, división 1°C			
			..16...= 0...+ 160°C, división 1°C			
			..20...= 0...+ 200°C, división 2°C			
TBI-HUF..	100 mm		..25...= 0...+ 250°C, división 2°C			
			..30...= 0...+ 300°C, división 2°C			
			..40...= 0...+ 400°C, división 2°C			
			..50...= 0...+ 500°C, división 2°C			

T) con conexión posterior subterránea

No se responsabiliza por los errores editados;
ajeto a cambios sin previo aviso

www.kobold.com

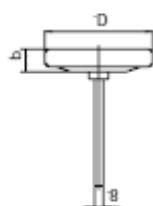
11

Termómetros Bimetalicos

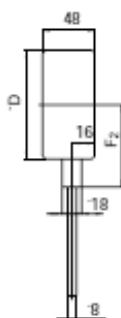


Dimensiones

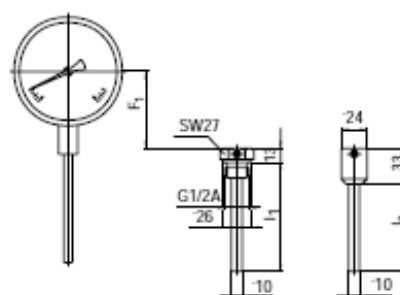
con sondas de inmersión y termopozos lisos

Modelo
TBI-SR...

Dimensiones (mm)	
D (NG)	b
63	16
80	17
100	21
160	25

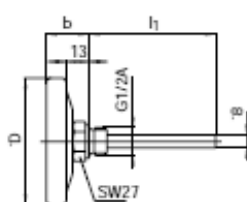
Modelo
TBI-SU...

Dimensiones (mm)		
D (NG)	F ₁	F ₂
100	70	78
160	100	108

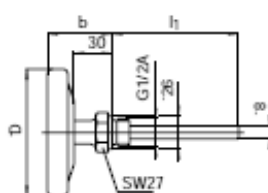
Termopozos
para enroscar en para soldar en

Ver dimensiones en datos de pedido

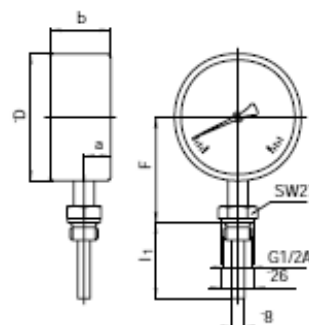
Para conexiones enroscadas para termopozos según DIN

Modelo
TBI-IR... (hasta 250°C)

Dimensiones (mm)	
D (NG)	b
63	29
80	30
100	35
160	39

Modelo
TBI-IR... (desde 300°C)

Dimensiones (mm)	
D (NG)	b
63	46
80	47
100	52
160	57

Modelo
TBI-IU...

Dimensiones (mm)			
D (NG)	a	b	F
100	17	44	83
160	19	46	113

1.2 Manómetro de Presión

 <p>M-Zert Zertifiziertes QM-System DIN EN ISO 9001 Zertifikat-Nr. 91917</p>	<p>Manómetros completamente de Acero Inoxidable con Tubo Bourdon con o sin Relleno de Glicerina Tamaños Nominales NG 63, 100, 160</p>		<p>Medir • Monitorear • Analizar</p>
--	--	--	---



- Precisión de medición: -1 a 1000 bar
- Precisión clase:
NG 63 : 1.6
NG 100, NG 160 : 1.0
- Protección contra sobre rango
1.3 veces el rango máximo
- Opcional: relleno de glicerina
- Cuerpo y partes móviles de acero inoxidable



Las oficinas de KOBOLD existen en los siguientes países:

ARGENTINA, AUSTRIA, BELGICA, BRASIL, CANADA, CHINA, FRANCIA, ALEMANIA, INGLATERRA, PAISES BAJOS, PERU, POLONIA, ITALIA, SUIZA, USA, VENEZUELA

KOBOLD Messring GmbH
Nordring 22-24
D-65719 Hofheim/Ts.
☎ (061 92) 299-0
Fax (061 92) 23398
E-mail: info.de@kobold.com
Internet: www.kobold.com

Modelo:
MAN-RD
MAN-RF
MAN-RG

21

Manómetros completamente de Acero Inoxidable con Tubo Bourdon**Descripción**

Los manómetros de presión completamente de acero inoxidable son ideales para las difíciles condiciones y las altas demandas resultantes de la medición de presión en las instalaciones de producción en la industria química y otras áreas comparables. La resistencia a medios y ambientes agresivos se logra mediante el uso de materiales de alta calidad tales como acero inoxidable tanto para el transporte como para la cubierta.

El relleno de glicerina provee protección contra el desgaste para el transporte mediante amortiguamiento, en caso ocurran presiones pulsantes o vibraciones mecánicas.

Manómetros de presión de la misma versión con otros materiales y para seguridad incrementada según EN 837-1 se pueden encontrar en el folleto P1.

Aplicación

- Industrias cervecera y alimenticia (con montaje de sello de diafragma)
- Industrias química y petroquímica

Datos técnicos**Versión: NG 63**





Modelo	MAN RD2 (7)* 5...	RD2 (7)* 7...	RD2 (7)* 7...B	RD2 (7)* 7...V	Opcionales
Tamaño nominal	63				
Símbolo					
Precisión clase	1.6				
Rangos	-1...0 bar a 0...600 bar Máx. presión: con carga estática: 3/4 del máximo rango con carga alternativa: 2/3 del máximo rango				
Protección de sobre rango	corto plazo 1.15...1.3 veces el rango máximo				
Cuerpo	Acero inoxidable AISI 304				
Marco de reloj	Anillo de bayoneta AISI 304				con anillo AISI 304
Instalación			abrazadera de panel	brida frontal	
Cristal	resina acrílica				
Dial	ABS, blanco con rótulo negro				
Agua	aluminio, negro				
Partes móviles	acero inoxidable				
Elemento de medida	acero inoxidable 316 L				
Conexión	AISI 316				
- posición					
- rosca	abajo macho G 1/4	centro posterior macho G 1/4			
Relleno	glicerina				
Protección	IP 65				
Temperaturas					
- medio	máx. +60 °C relleno, +80 °C no llenado				
- ambiente	máx. +60 °C				

*(7) Versión con relleno de glicerina

Manómetros completamente de Acero Inoxidable con Tubo Bourdon

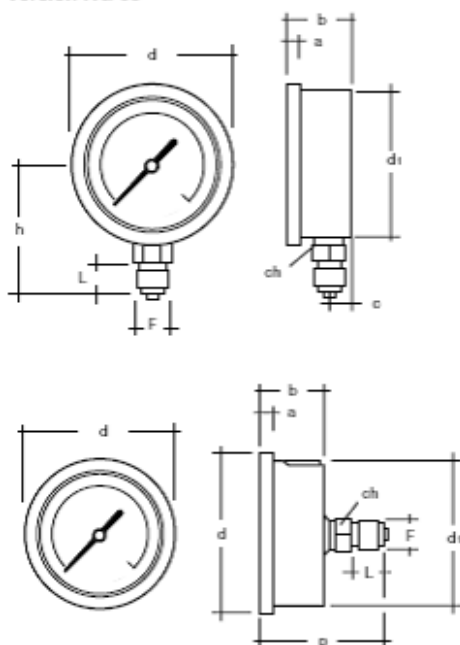


Versión: NG 100, 160

Modelo	MAN	RF2 (7)" 6	RG2 (7)" 6	RF2 (7)" 8	RG2 (7)" 8	Opcionales
Tamaño nominal		100	160	100	160	
Símbolo						
Precisión clase		1,0				
Rangos		-1...0 bar a 0...600 bar				
Máx. presión		con carga estática: máx. rango con carga alternativa: 2/3 del máximo rango				
Protección de sobre rango		corto plazo 1.15...1.3 veces el rango máximo				
Cuerpo		1.4301				
Marco de reloj		1.4301				
Cristal		vidrio blindado				aro de montaje en panel
Dial		Alu, blanco				
Agusa		Alu , negro				
Partes móviles		acero inoxidable				
Elemento de medida		acero inoxidable				
Conexión		1.4571 abajo macho G 1/2		1.4571 posterior, excéntrica macho G 1/2		
Relleno						relleno de glicerina
Protección		IP 54 / IP 65 (con relleno)				
Temperaturas		máx. 80°C máx. 60°C				

*(7) Versión con relleno de glicerina

Manómetros completamente de Acero Inoxidable con Tubo Bourdon

Dimensiones
Versión NG 63

NG (mm)	a	b	c	d	d1	f
63	5,6	28	10	68	62,5	3,6

F	L	ch	h	p
macho G1/4		13	14 x 9	55,3

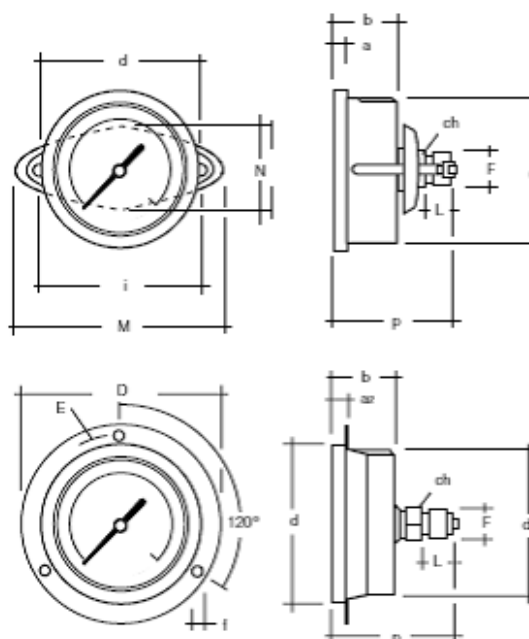
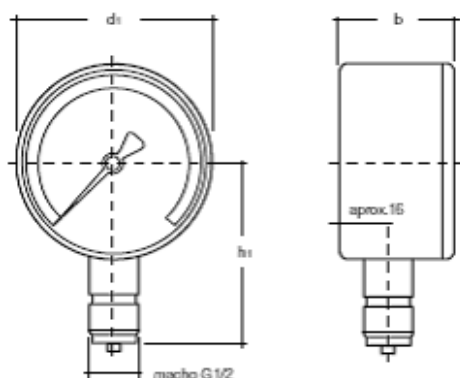


Tabla de dimensiones para conexión posterior

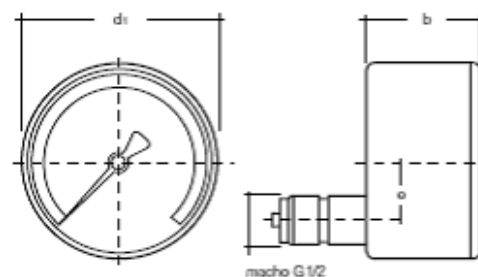
NG (mm)	a	az	b	d	d1
63	5,6	6,6	28	68	62,6
f	i	D	E	M	N
3,6	72	85	75	90	38

Versión NG 100, 160

Series RG 2 (7)° 6...



Series RF 2 (7)° 8...



Diámetro del cuerpo d1 ±1 (mm)	b	e	h1 ±1
100	50	32	87
160	50	50	118

Manómetros completamente de Acero Inoxidable con Tubo Bourdon



Detalles del pedido (Ejemplo: MAN-RD25 A 315)

Modelo MAN-	RD25...	RD27...	RD27 B...	RD27 V...	RD75...	RD77...	RD77 B...	RD77 V...
Versión	Conexión inferior	Conexión posterior	Abrazadera de panel	Anillo frontal	Rellena	No llenada	Abrazadera de panel rellena	Rellena frontal con anillo
Ø (mm)	63							

Detalles del pedido (Ejemplo: MAN-RF26 A 315)

Modelo MAN-	RF26...	RG26...	RF28...	RG28...	RF76...	RG76...	RF78...	RG78...
Versión	Conexión inferior	Conexión inferior	Conexión posterior	Conexión posterior	Conexión inferior, rellena	Conexión inferior, rellena	Conexión posterior, rellena	Conexión posterior, rellena
Ø (mm)	100	160	100	160	100	160	100	160

Rango indicación	Código
-1200 a 0 mbar	...A 446*
-0,6 a 0 bar	...A 305*
-1 a 0 bar	...A 315
-1 a +1,5 bar	...A 515
-1 a +3 bar	...A 525
-1 a +5 bar	...A 535
-1 a +9 bar	...A 545
-1 a +15 bar	...A 555

Rango indicación	Código
0 a 0,6 bar	...B 015*
0 a 1 bar	...B 025
0 a 1,6 bar	...B 035
0 a 2,5 bar	...B 045
0 a 4 bar	...B 055
0 a 6 bar	...B 065
0 a 10 bar	...B 075
0 a 16 bar	...B 085
0 a 25 bar	...B 095
0 a 40 bar	...B 105

Rango indicación	Código
0 a 60 bar	...C 115
0 a 100 bar	...C 125
0 a 160 bar	...C 135
0 a 250 bar	...C 145
0 a 400 bar	...C 155
0 a 600 bar	...C 165
0 a 1000 bar	...D 175*

* no para MAN-RD...

1.3 Transmisor de presión

© Siemens AG 2007

Instrumentos para medida de presión SITRANS P Transmisores de presión relativa

Serie MK II

Síntesis



Transmisores de presión SITRANS P, serie MK II con indicador analógico incorporado

Los transmisores de presión SITRANS P de la serie MK II son adecuados para medir la presión relativa de gases, vapores y líquidos corrosivos y no corrosivos.

Son transmisores de presión precisos y robustos que se caracterizan por un diseño compacto.

Los transmisores de presión están disponibles en muchas variantes y con una amplia gama de accesorios.

Beneficios

- Diseño robusto y compacto
- Alta precisión de medida
- Error de característica $\leq 0,25\%$
- Piezas con contacto con el fluido en acero inoxidable 1.4404/316L
- Rango de medida 0,23 a 160 bar g (3,34 a 2320 psi g)
- Protección contra explosiones según ATEX y FM/CSA

Gama de aplicación

Los transmisores de presión SITRANS P de la serie MK II se utilizan en primer lugar en los siguientes sectores industriales:

- Química
- Petroquímica
- Sector energético
- Industria farmacéutica

Los transmisores en la versión con "seguridad intrínseca" pueden montarse en áreas con riesgo de explosión (zona 1). El certificado de conformidad es conforme con la norma europea (ATEX).

Para aplicaciones especiales como por ejemplo la medida de fluidos de alta viscosidad, los transmisores de presión están disponibles con diferentes tipos de sellos separadores.

Construcción



Transmisores de presión SITRANS P, serie MK II, vista frontal
El transmisor está compuesto de diferentes componentes según las especificaciones del cliente. Las posibilidades de composición se pueden consultar en las instrucciones de pedido. Los componentes especificados a continuación son los mismos en todos los instrumentos.

En la parte lateral del transmisor se encuentra, entre otros, la placa de características (3, figura "Vista frontal") con la referencia. Con la referencia indicada y lo especificado en las instrucciones de pedido es posible definir tanto los detalles de diseño opcionales como el rango de medida posible (propiedades físicas del elemento sensor incorporado).

En el lado contrario se encuentra la placa de homologación.

La carcasa es de fundición inyectada de aluminio o de fundición de acero inoxidable. En cada una de las partes frontal y posterior de la caja se encuentra una tapa redonda destornillable (5). El transmisor de presión puede equiparse opcionalmente con un indicador analógico (6). Lateralmente, a elección a la izquierda o a la derecha, se encuentra la entrada de cable (4) para la conexión eléctrica. La abertura no utilizada está cerrada con un tapón ciego en el lado opuesto. En la parte posterior de la carcasa se encuentra el terminal de conexión del conductor de protección.

Destornillando la tapa posterior se obtiene acceso a las conexiones eléctricas para la alimentación auxiliar y la pantalla. En la parte inferior de la carcasa se encuentra la célula de medida con la conexión al proceso (1). La célula de medida está protegida contra giro mediante un tornillo de retención.

Funciones

Funcionamiento

A través de la membrana separadora (2, figura "Diagrama de función") y el líquido de relleno (3), la presión se transmite al sensor de presión de silicio (4). La presión actuante provoca la deflexión de la membrana de medida. En consecuencia, las cuatro piezorresistencias implantadas en la membrana, conectadas en puente, modifican su valor de resistencia.

Esta variación de resistencia origina una tensión de salida del puente proporcional a la presión de entrada, aumentada en un amplificador y convertida directamente en la corriente de salida de 4 a 20 mA.

Los transmisores con alcances de medida de ≤ 63 bar g (≤ 914 psi g) miden la presión de entrada contra la atmósfera.

El transmisor con el alcance de medida de 160 bar g (2320 psi g) efectúa la medición contra el vacío.

Siemens FI 01 - 2008

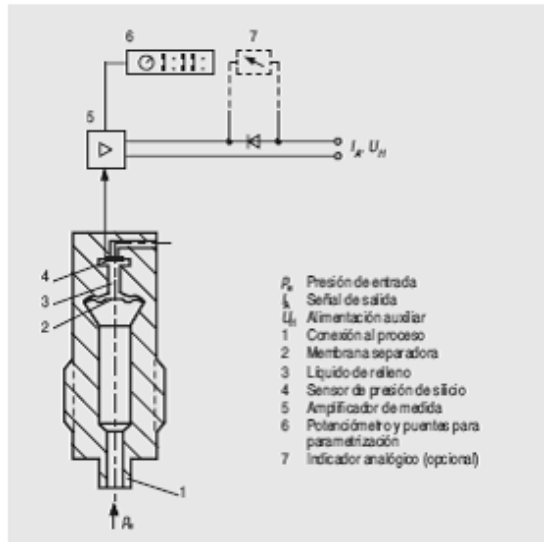
2/21

© Siemens AG 2007

Instrumentos para medida de presión SITRANS P

Transmisores de presión relativa

Serie MK II



Transmisores de presión SITRANS P, serie MK II, diagrama de función

Parametrización

La parametrización se efectúa mediante potenciómetros y puentes enchufables (6, figura "Diagrama de función").

Los siguientes parámetros pueden ajustarse e indicarse:

- Inicio y fin de medida con aplicación de presión
- Amortiguación

Datos técnicos

Transmisores de presión SITRANS P, serie MK II

Funcionamiento

Principio de medida: piezorresistivo

Entrada

Magnitud medida: Presión relativa

Rango de medida:

Alcance de medida: Presión de servicio máx. adm.

0,23 ... 1 bar g (3,34 ... 14,5 psi g) 6 bar g (87 psi g)

0,89 ... 4 bar g (12,9 ... 58 psi g) 10 bar g (145 psi g)

3,55 ... 16 bar g (51,5 ... 232 psi g) 32 bar g (464 psi g)

14,0 ... 63 bar g (203 ... 914 psi g) 100 bar g (1450 psi g)

35,6 ... 160 bar g (516 ... 2320 psi g) 250 bar g (3626 psi g)

• Límite inferior de medida

- Célula de medida con relleno de aceite de silicona 30 mbar (0,435 psi) abs.

• Límite superior de medida 100% del alcance de medida máx.

• Inicio de medida (ajustable de forma continua) +20 ... -13% del alcance de medida máx.

Salida

Señal de salida 4 ... 20 mA

• Límite inferior 3,83 mA

• Límite superior 22 mA

Carga $R_B \leq (U_A - 10,5 \text{ V}) / 0,023 \text{ A en } \Omega$
 U_A : Alimentación auxiliar

Característica lineal creciente

Precisión de medida

Condiciones de referencia

según EN 60770-1
 característica creciente, inicio de medida 0 bar, membrana separadora de acero inox., relleno de aceite de silicona, ajuste de punto límite, r: relación del alcance de medida (r = alcance máx. / alcance ajustado)

Error de medida (incl. histéresis y repetibilidad) $\leq 0,25\%$

Deriva a largo plazo $\leq 0,2\%$ en 12 meses para el alcance de medida máx.

Influencia de la temp. ambiente

Rango de temperatura:

• -10 ... +60 °C (14 ... 140 °F) $\leq (0,6 - r + 0,6)\%$ con célula de 1 bar (14,5 psi): $\leq (1,2 - r + 0,6)\%$

• -40 ... -10 °C (-40 ... +14 °F) y 60 ... 85 °C (140 ... 185 °F) $\leq (0,2 - r + 0,15)\% / 10 \text{ K}$

Condiciones de aplicación

Condiciones ambiente

Temperatura almacenamiento -50 ... +85 °C (-58 ... +185 °F)

Clase climática

• Condensación admisible

Grado de protección (según EN 60529) IP65

Compatibilidad electromagnética

• Emisión de perturbaciones y inmunidad a las perturbaciones según EN 61326 y NAMUR NE 21

Temperatura del fluido a medir -30 ... +100 °C (-22 ... +212 °F)

Construcción mecánica

Peso (sin opciones)

~ 1,5 kg (~ 3,3 lb)

Material de la caja

Fundición de aluminio baja en cobre, GD-AISI12

Material de las partes en contacto con el fluido

• Conexión roscada Acero inox., N° de mat. 1.4404/316L

• Membrana separadora Acero inox., N° de mat. 1.4404/316L

Relleno de la célula de medida

Aceite de silicona

Conexión al proceso

Boquilla G1/8 según DIN EN 837-1, rosca interior 1/8 -14 NPT

Conexión eléctrica

Bornes de tornillo, entrada de cable por pasacables Pg 13,5 (adaptador), M20x1,5 o 1/2 -14 NPT, o conector Han 7D/ Han 8U

Alimentación auxiliar U_A

Tensión en bornes del transmisor

10,5 ... 45 V DC
 10,5 ... 30 V DC en caso de modo con seguridad intrínseca

Certificados y homologaciones

Clasificación según la Directiva de equipos a presión (97/23/CE):

Para gases del Grupo de fluidos 1 y líquidos del Grupo de fluidos 1; cumple los requisitos según artículo 3, sección 3 (prácticas de la buena ingeniería)

Protección contra explosiones

• Seguridad intrínseca "I" PTB 98 ATEX 2003

- Identificación Ex II 1/2 G EEx ia/ib IIC T4

- Temperatura ambiente admisible -30 ... +80 °C (-22 ... +176 °F)

- Conexión en circuitos con seguridad intrínseca certificados con valores máximos: $U_i = 30 \text{ V}$, $I_i = 100 \text{ mA}$, $P_i = 750 \text{ mW}$

- Inductancia/capacidad interna efectiva $L_i = 0,75 \text{ mH}$, $C_i = 21 \text{ nF}$

© Siemens AG 2007

Instrumentos para medida de presión SITRANS P

Transmisores de presión relativa

Serie MK II

• Envoltorio antideflagrante "d"	PTB 99 ATEX 1160
- Identificación	Ex II 1/2 G EEx d IIC T4/T6
- Temperatura ambiente admisible	-30 ... +85 °C (-22 ... +185 °F) clase de temperatura T4; -30 ... +60 °C (-22 ... +140 °F) clase de temperatura T6
- Conexión	en circuitos con los valores de servicio: $U_{I1} = 10,5 \dots 45 \text{ V DC}$

• Prot. contra explosiones según FM	Certificate of Compliance 3008490
- Identificación (XP/DIP) o (IS); (NI)	CL I, DIV 1, GP ABCD T4; CL II, DIV 1, GP EFG; CL III; CL I, ZN o/1 AEx ia IIC T4; CL I, DIV 2, GP ABCD T4; CL II, DIV 2, GP FG; CL III
• Prot. contra explosiones según CSA	Cert. of Compliance 2000, 1153651
- Identificación (XP/DIP) o (IS)	CL I, DIV 1, GP ABCD T4; CL II, DIV 1, GP EFG; CL III; Ex ia IIC T4; CL I, DIV 2, GP ABCD T4; CL II, DIV 2, GP FG; CL III

Datos de selección y pedido	Referencia
Transmisores SITRANS P para presión, serie MK II	7MF4010 -
Conexión a 2 hilos, instrucciones (en el idioma de la rotulación de la placa de características; véase la sección "Otras versiones")	- 1
Repleno de la célula de medida	
Repleno de la célula de medida	
Acetato de silicona	1
Alcance de medida	
0,23 ... 1 bar (3,34 ... 14,5 psi)	B
0,89 ... 4 bar (12,9 ... 58 psi)	C
3,55 ... 16 bar (51,5 ... 232 psi)	D
14,0 ... 63 bar (203 ... 914 psi)	E
35,6 ... 160 bar (516 ... 2320 psi)	F
Material de las partes en contacto con el fluido	
Membrana separadora conexión roscada	A
Acero inoxidable	Y
Versión para sello de membrana separadora ¹⁾	0
Conexión al proceso	
• boquilla G½B según EN 837-1	0
• rosca interior ½-14 NPT	1
Material de las partes sin contacto con el fluido	
Caja de fundición inyectada de aluminio	0
Protección contra explosiones	
• sin	A
• con ATEX, modo de protección:	
- "Seguridad intrínseca (EEx ia)"	B
- "Envoltorio antideflagrante (EEx d)" ²⁾	D
- "Seguridad intrínseca y envoltorio antideflagrante (EEx ia + EEx d)" ³⁾	P
• con FM + CSA, modo de protección:	
- "Intrinsic Safe und Explosion Proof (is + xp)" ²⁾	NC
Conexión eléctrica/entrada de cables	
• pasacables Pg 13,5 (adaptador)	A
• pasacables M20x1,5	B
• pasacables ½-14 NPT	C
• conector Han 7D (caja de plástico) con conector opuesto	D
Indicador	
• sin	1
• tapa con indicador analógico, escala 0 ... 100%, división lineal	3

Alimentadores véase "Alimentadores y amplificadores aisladores SITRANS P".

El alcance del suministro del aparato incluye:

- instrucciones abreviadas
- CD-ROM con documentación detallada

¹⁾ Si desea pedir el certificado de fabricante M (certificado de calibración) en conjunto con transmisores con sellos de membrana separadora, recomendamos pedir el certificado siempre en conjunto con los sellos separadores. En él se certifica la precisión de medida del conjunto entero.

²⁾ Sin pasacables, con tapón ciego

³⁾ Con pasacables adjunto EEx ia y tapón ciego

Datos de selección y pedido	Clave
Otras versiones	
Completar la referencia con la extensión "-Z" e incluir la clave.	
Transmisor de presión con escuadra de montaje de:	
• acero	A01
• acero inoxidable	A02
Conector	
• Han 7D (metálico, gris)	A30
• Han 8U (en lugar de Han 7D)	A31
Rotulación de la placa de características	
(en lugar de alemán)	
• inglés	B11
• francés	B12
• español	B13
• italiano	B14
Placa de características en inglés	
Unidades de presión en inH ₂ O o psi	B21
Certificado de fabricante M (certificado de calibración)¹⁾	
según DIN 55350, Parte 18 4.2.2 y según ISO 9001	C11
Certificado de fábrica	
según DIN 50049-2.2/EN 10204-2.2	C14
Aplicación en la zona 0	
(sólo en combinación con el modo de protección con "Seguridad intrínseca (EEx ia)")	E02
Indicaciones adicionales	
Completar la referencia con la extensión "-Z" e incluir la clave.	
Rango de medida a ajustar	
especificar en texto explícito:	
Y01: ... hasta ... mbar, bar, kPa, MPa, psi	Y01
Número del punto de medida (TAG)	
máx. 16 caracteres, especificar en texto:	
Y15:	Y15
Comentario	
máx. 27 caracteres, especificar en texto:	
Y16:	Y16
De fábrica sólo es posible el preajuste "Y01"	

Ejemplo de pedido

Línea de posición: 7MF4010-1EA00-1AA3-Z

Línea B: A01 + Y01

Línea C: Y01: 10 ... 20 bar (145 ... 290 psi)

Siemens FI 01 - 2008

2/23

1.4 Controlador de Temperatura



TC Direct para Medida y Control de Temperatura

☎ 91 840 6695

CONTROLADOR DE TEMPERATURA 1/16 DIN PID

Este controlador PID es potente y versátil además de económico. Tiene doble display de 4 dígitos y el usuario puede fijar seleccionar el tipo de entrada y configurar las alarmas. Su función de auto sintonía consigue que el funcionamiento del controlador sea óptimo para la mayoría de las aplicaciones. También existe una versión calor / frío.

- Control PID con auto sintonía o On/Off
- 1/16 DIN (48x48x100mm de profundidad)
- Doble Display LED de 4 dígitos
- Precisión: $\pm 0.3\%$ del fondo de escala
- Alimentación estándar 100-240 Vca. Para 24Vca o 24Vcc póngase en contacto con nosotros
- Entradas configurables para termopares tipo K, J, T, N, E, R, S y B o para Pt100
- Alarmas configurables de temperatura (de proceso o desviación) o de rotura de lazo
- Salida a relé o lógica para relé de estado sólido (SSR)
- Memoria no volátil
- Garantía de 5 años

Los siguientes modelos están disponibles:

Versión Estándar

Con Salida Analógica 4-20 mA

Con Opción de Comunicación RS485

Versión 3 Puntos (Calor/Frío)

Versión Estándar

Código	Descripción	Precio:1-4	Precio:5-10
305-155	Sin alarmas - salida relé	€134,00	€126,00
305-158	Sin alarmas - salida lógica (SSR)	€134,00	€126,00
305-161	1 alarma - salida relé	€151,00	€142,00
305-164	1 alarma - salida lógica (SSR)	€151,00	€142,00
305-167	2 alarmas - salida relé	€168,00	€159,00
305-170	2 alarmas - salida lógica (SSR)	€168,00	€159,00
306-202	Configuración del tipo de sensor, rango, selección de alarma y valores de alarma	€13,00	€8,00

Con Salida Analógica 4-20 mA

Código	Descripción	Precio:1-4	Precio:5-10
305-190	Sin alarmas - salida 4-20mA	€163,00	€155,00
305-193	1 alarma - salida 4-20mA	€179,00	€171,00
305-196	2 alarmas - salida 4-20mA	€195,00	€187,00
306-202	Configuración del tipo de sensor, rango, selección de alarma y valores de alarma	€13,00	€8,00

Con Opción de Comunicación RS485

Código	Descripción	Precio:1-4	Precio:5-10
305-202	Sin alarmas - salida relé	€174,00	€166,00
305-205	Sin alarmas - salida lógica (SSR)	€174,00	€166,00
305-208	1 alarma - salida relé	€191,00	€182,00
305-211	1 alarma - salida lógica (SSR)	€191,00	€182,00
305-214	2 alarmas - salida relé	€208,00	€198,00
305-217	2 alarmas - salida lógica (SSR)	€208,00	€198,00
306-202	Configuración del tipo de sensor, rango, selección de alarma y valores de alarma	€13,00	€8,00

Versión 3 Puntos (Calor/Frío)

Código	Descripción	Precio:1-4	Precio:5-10
305-235	Sin alarmas - salidas: calor, relé - frío, relé	€208,00	€198,00
305-238	Sin alarmas - salidas: calor, relé estado sólido - frío, relé	€208,00	€198,00
305-241	2 alarmas - salidas: calor, relé - frío, relé	€238,00	€230,00
305-244	2 alarmas - salidas: calor, lógica (SSR) - frío, relé	€238,00	€230,00
306-202	Configuración del tipo de sensor, rango, selección de alarma y valores de alarma	€13,00	€8,00

1.5 Controlador de Presión



Serie YS100

- Controladores programables que permiten la confección de programas a la medida del cliente.
- Poseen un display de LCD para un claro y completo monitoreo de información.
- Otorgan una excelente confiabilidad a través de sus dos CPUs; si la principal falla, se puede continuar el control en forma manual, ya que la CPU del display es independiente.
- Posibilidad de control unilazo, doble lazo independiente, control en cascada, etc.

YS1000 series

YS1700 / YS1500 / YS1300 / YS110

- Display LCD colorido de fácil visualización de las variables del proceso por medio de diversas pantallas.
- Indicación de control en formato analógico (Main Display)
- Ocurrencia de eventos (Event Display)
- Tendencia (Trend Display), con selección de hasta 4 entradas ó salidas analógicas
- Alarmas (Alarm Display)
- Loop (Loop Display)
- 2 loop (Dual Display)
- Tres modos de conexión: USB, Ethernet ó RS485
- Clave de protección de acceso al programa propietario
- Función computacional de cálculos matemáticos
- Programa compatible con la programación del YS170 y YS80

2 ACCESORIOS

2.1 Aislamiento: Cañuelas y mantas de lana mineral de roca



Aislamientos Térmicos
Aislamientos y Tratamientos Acústicos
Protección pasiva contra incendios
Cubiertas y Cerramientos Termoacústicos

FICHA TÉCNICA CAÑUELAS



Aislamiento Térmico de Tuberías
a escala Industrial que trabajan a
altas temperaturas.



DESCRIPCIÓN

Las cañuelas de lana mineral de roca **CALORCOL S.A.** consisten en aislamientos térmicos normalizados para tubería estándar de diversos diámetros nominales, en dos canaletas o conchas que se ajustan a lo largo del tubo y que se moldean en forma cilíndrica. Son fabricadas con lana mineral aglutinada con resina sintética.

Tienen gran resistencia mecánica. Se ajustan perfectamente al tubo sin dejar la más mínima ranura o escape de

calor. Por su alta densidad (8 lb / pie³) evita el paso de calor con mucha eficiencia y proporciona una excelente durabilidad, ya que no pierde peso al estar sometida continuamente a temperaturas hasta de 850 °F.

Las cañuelas de lana mineral de roca son totalmente incombustibles y 100% libres de asbesto. Por su composición química, las cañuelas de lana mineral de roca son químicamente neutras, no causan ni promueven la corrosión.

"Líderes en Aislamientos Industriales"

CALORCOL S.A. Calle 46 N° 71 - 121 Copacabana - Antioquia - Colombia
PBX: (574) 274 41 49 - Fax: (574) 274 56 92 A.A. 9861 Medellín - Antioquia - Colombia
info@calorcol.com - www.calorcol.com

VENTAJAS

Eficiencia térmica:

Por su densidad poseen un bajo factor K reduciendo drásticamente las pérdidas de calor.

Estabilidad dimensional:

No pierden sus propiedades físicas cuando están sometidas a intenso calor, se adaptan perfectamente a los tubos sin dejar ningún escape de calor. No se pudren, no se encogen, no se estiran, tampoco se rompen cuando están sometidas a trabajo intenso y continuo.

Resistencia a la vibración:

No se desintegran, ni pierden su forma en líneas expuestas a vibraciones.

Fácil instalación:

Son fáciles de instalar, se pueden cortar, pinar, o clavar sin perder sus propiedades.

Incombustibles:

Las cañuelas de lana mineral de roca **CALORCOL S.A.** son totalmente incombustibles, no emanan gases ni humos tóxicos.

Excelente presentación:

Vienen en dos presentaciones, sin foil de aluminio para recubrir con lamina de aluminio y con foil de aluminio reforzado para instalar directamente sobre la tubería. No requiere acabado final.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Unidad	Cañuelas con foil y sin foil de aluminio		TEMPERATURA MEDIA		K
Densidad	8 lbs / pie ³		°F	°C	BTU plg / hr pie ² °F
Dimensiones	Longitud	0.91 m	100	38	0.24
	Espesor	1, 1½, 2, 2½, 3 y 4 plg	175	79	0.29
Conductividad térmica K	0.24 BTU / hora pie ² a 100°F		200	93	0.32
Diámetro nominal de la tubería	De ½ a 8 plg		250	121	0.34
Norma	ASTM Norma C 547		325	163	0.40
NRC	85%, 500 a 100 decibels/seg a 1 plg de espesor		400	204	0.47
Empaque	De polietileno reforzado				

ESPEORES DE AISLAMIENTOS RECOMENDADOS

TEMPERATURA (°C)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
DIÁMETRO TUBERÍA	ESPEORES DE AISLAMIENTO (plg.)									
½"	1	1	1	1½	1½	1½	2	2½	2½	3
¾"	1	1	1	1½	1½	1½	2	2½	2½	3
1"	1	1	1½	1½	2	2	2½	3	3	3½
1 ¼"	1	1	1½	2	2	2½	2½	3	3	3½
1 ½"	1	1	1½	2	2	2½	2½	3	3	3½
2"	1	1½	1½	2	2	2½	3	3	3½	4
2 ½"	1½	1½	2	2½	3	2½	3	3½	4	4
3"	1½	2	2	2½	3	3	3	3½	4	4½
4"	1½	2	2½	3	3	3	3½	4	4½	5
5"	1½	2	2½	3	3	3½	4	4½	5	5½
6"	1½	2	2½	3	3	3½	4	4½	5	5½
8"	1½	2	2½	3	3	3½	4	5	5½	6
10"	2	2½	3	3	3½	4	4½	5	6	6½
12"	2	2½	3	3	3½	4	5	5½	6	7
14"	2	2½	3	3½	4	4	5	6	6½	7
16"	2	2½	3	3½	4	4½	5	6	6½	7½
18"	2	2½	3	3½	4	4½	5	6	6½	7½
20"	2½	3	3½	4	4	4½	5	6	7	8
22"	2½	3	3½	4	4	5	5½	6	7	8
24"	2½	3	3½	4	4	5	5½	6	7	8

USOS

- Cañuelas para aislamiento térmico de tuberías en líneas de servicio que operan a temperaturas desde -80° C hasta 454° C en régimen continuo.
- Para el aislamiento térmico de tuberías frías deben ser provistas de una barrera de vapor para evitar condensación. En instalaciones de tubería expuestas a la intemperie se deben proteger del agua lluvia.



"Líderes en Aislamientos Industriales"

CALORCOL S.A. Calle 46 N° 71 - 121 Copacabana - Antioquia - Colombia
 PBX: (574) 274 41 49 - Fax: (574) 274 56 92 A.A. 9861 Medellín - Antioquia - Colombia
 info@calorcol.com - www.calorcol.com

Mantas de lana mineral de roca



2. MANTAS AISLANTES

DESCRIPCIÓN: Colchonetas de alta densidad (De 60, 80, 100, 125 y 140 kg /m³) que utilizan malla hexagonal como medio de retención. Norma ASTM C592 Clase II.

USOS: Se usan para aislar superficies planas, curvas o irregulares de calderas, hornos industriales, tanques, ductos y para todo tipo de aislamiento térmico industrial.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESTACIONES TECNOLÓGICAS		
Densidad	De 60 a 140 kg/m ³ (3.75 a 8.75 lb/pie ³)	
Temperatura de operación	Hasta 750°C (1382 °F) en régimen continuo.	
Conductividad térmica	0.25 BTU .plg. / hr.pie ² °F a 100 °F	
Dimensiones	Ancho	2 y 3 pies (0.61 y 0.91m)
	Largo	4, 6 y 8 pies (1.22, 1.83 y 2.44m)

2.2 Purgador



Cert. No. LRQ 0363008

ISO 9001

spirax/sarco

FT44

Purgador de boya cerrada en acero al carbono (DN15 a DN50)

TI-S02-14

ST Issue 9

Descripción

El FT44 es un purgador de boya cerrada de acero con eliminador termostático de aire. Está disponible con conexiones con bridas horizontales o verticales FT44V.

En la versión horizontal se puede incorporar un dispositivo antibloqueo por vapor F144C. Bajo pedido se puede entregar la tapa taladrada y roscada a 1/2" RSP o NPT para instalar una válvula de purga.

Cuerpo y tapa de fundición están aprobados por TÜV. Para Purgadores FT44 de DN80 y DN100 ver TI-S02-23.

Estándar

Este producto cumple totalmente con los requisitos de la Directiva Europea de Equipos a Presión (2010/38/EC) y lleva la marca CE cuando lo precisa.

Certificados - Este producto está disponible con certificado EN 10204 2.2. Certificado EN 10204 3.1.B opcional.

Nota: Los certificados/requerimientos de inspección deben solicitarse con el pedido.

Tamaños y conexiones

UN"0, DN20, DN25, DN40 y DN50.

Purgadores horizontales - Bridas DIN PN40 con dimensiones entre caras de acuerdo con EN 26554 (Serie 1), ó bridas ANSI D16.5 Clase 150 y 300 y JIS/KS20 con dimensiones entre caras extendidas.

Purgadores verticales - Dirección de flujo solo de arriba abajo. Bridas estándar EN 1092 PN40 con dimensiones entre caras de acuerdo con EN 26554 (Serie 1), también están disponibles bridas ANSI B16.5 Clase 150 y 300 y JIS/KS20 con dimensiones entre caras de acuerdo con EN 26554 (Serie 1). Las bridas ANSI/JIS/KS se suministran con orificios roscados para los tornillos de las bridas. Las bridas ANSI tienen roscas UNC y las JIS/KS tienen roscas métricas.

Rango de operación



El purgador no puede trabajar en esta zona

A - B Bridas PN 1002 PN40 y ANSI 300

A - C Bridas JIS/KS 20

A - D Bridas ANSI 150

Condiciones de diseño del cuerpo PN40

PMA Presión máxima admisible a 100°C 40 bar r

TMA Temperatura máxima admisible a 27,5 bar r 300°C

Temperatura mínima admisible 0°C

PMO Presión máxima de trabajo para vapor saturado 32 bar r a 238°C

Nota: Los purgadores DN40 y DN50 están limitados a un PMO igual a ΔPMX

TMO Temperatura máxima de trabajo a 27,5 bar r 300°C

Temperatura mínima de trabajo 0°C

Nota: Para temperaturas de trabajo inferiores consultar con Spirax Sarco

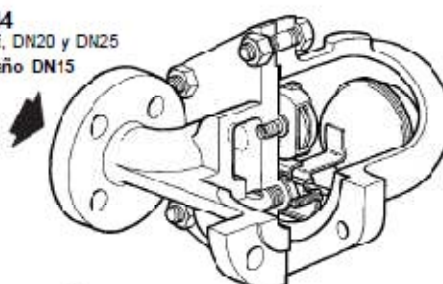
	Tamaño	DN15, DN20, DN25	DN40, DN50
Presión	FT44-4.5	4,5 bar	4,5 bar
ΔPMX diferencial máxima	FT44-10	10 bar	10 bar
	FT44-14	14 bar	-
	FT44-21	21 bar	21 bar
	FT44-32	32 bar	32 bar

Prueba hidráulica 80 bar r

Nota: Con internos montados, la prueba hidráulica no puede superar la ΔPMX.

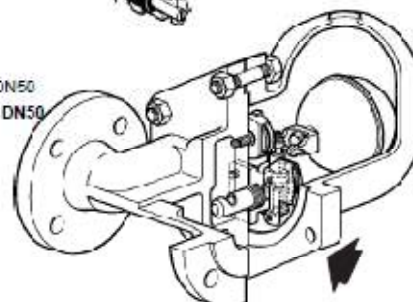
Importante: El purgador en su forma operativa no debe estar sometido a una presión mayor de 48 bar r, ya que podría dañarse el mecanismo.

FT44
DN15, DN20 y DN25
Tamaño DN15



FT44-C

F144
DN40 y DN50
Tamaño DN50



Materiales

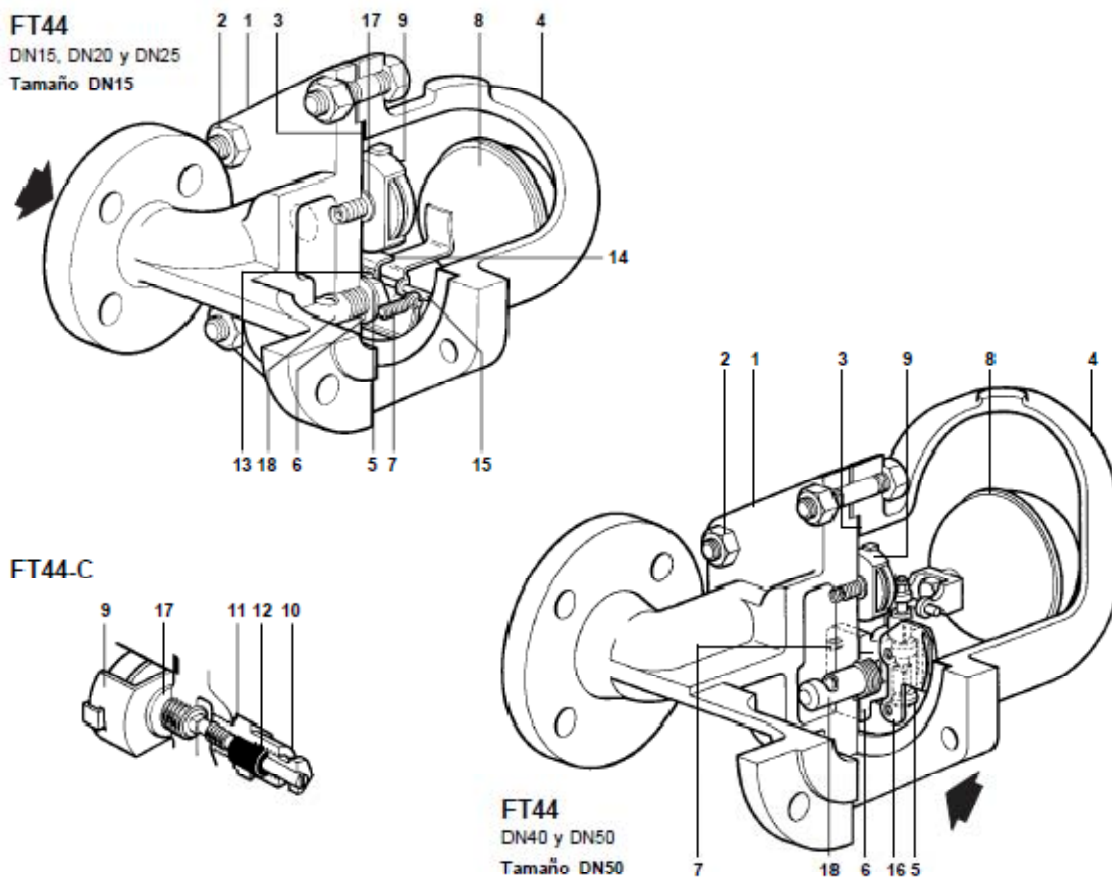
Ver página 2 para la lista de materiales.

Capacidades

Ver Hoja Técnica TI 302 36.

En beneficio del desmontaje y mejora de producto, nos reservamos el derecho de cambiar la especificación

© Copyright 2014



Materiales

No. Parte		Material	
1	Cuerpo	Acero al carbono	1.0619+N (GSC 25N)
2	Tornillos tapa	Acero	BS 4882 B7M
	Tuercas tapa	Acero	BS 3692 Gr. 8
3	Junta tapa	Grafito laminado reforzado	
4	Tapa	Acero al carbono	1.0619+N (GSC 25N)
5	Asiento	DN15, DN20 y DN25 horizontales DN15 y DN20 verticales	Acero inoxidable BS 970 431 S29
	Válvula principal con deflector	DN40 y DN50	Acero inoxidable BS 3146 Pt2 ANC2 BS 970 416 S37
6	Junta asiento	DN15, DN20 y DN25	Acero inoxidable BS 1449 304 S11
	Junta conj. válvula principal	DN40 y DN50	Grafito laminado reforzado
	Tornillos armazón pivote	DN15, DN20 y DN25	Acero inoxidable BS 4183 18/8
7	Conjunto válvula principal	Tornillos DN40	Acero inoxidable BS 970 302 S25
		Esparragos y tuercas DN50	Acero inoxidable BS 970 431 S29
8	Flotador y palanca		Acero inoxidable BS 1449 304 S16
9	Eliminador de aire		Acero inoxidable
10	Conjunto SLR		Acero inoxidable BS 970 303 S31
11	Junta SLR		Acero BS 1449 CS4
12	Empaquetadura SLR		Grafito
13	Armazón soporte		Acero inoxidable BS 1449 304 S16
14	Armazón pivote		Acero inoxidable BS 1449 304 S16
15	Pivote		Acero inoxidable
16	Deflector interno	Solo DN40 y DN50	Acero inoxidable BS 1449 304 S16
17	Junta eliminador de aire		Acero inoxidable BS 1449 409 S19
18	Deflector		Acero inoxidable BS 970 431 S29

sprax
/sarco

Purgador de boya cerrada para vapor FT44 DN15 a DN50

TI-S02-14 ST Issue 9

2.3 Válvula de control



● SPIRA-TROL
VÁLVULAS DE CONTROL
PARA SERVICIO GENERAL

spirax/sarco
controls & instrumentation



SPIRA-TROL

Válvulas de control para uso general

SPIRA-TROL

La serie SPIRA-TROL ha sido desarrollada usando las más modernas técnicas computerizadas de dinámica de fluidos y de realización rápida de prototipos para proporcionar una válvula moderna para las exigentes industrias de hoy.

La válvula de control tiene un concepto de diseño modular e incorpora muchas opciones dentro de un mismo cuerpo. Ambas versiones ANSI y EN comparten las mismas partes internas solo se necesitan tres actuadores neumáticos para válvulas de tamaños hasta DN100, 4". Esto conlleva un número reducido de componentes y un sistema altamente flexible, donde una válvula puede satisfacer las necesidades de numerosas industrias. El resultado para el usuario es una válvula de control universal con un coste excepcionalmente reducido de adquisición.

UNA VÁLVULA DE CONTROL UNIVERSAL CON UNA FORMULA GANADORA

- Aplicación Universal
- +
- Control Preciso
- +
- Sellado de Vástago de Alto Rendimiento
- +
- Partes Internas de Larga Duración
- +
- Número Reducido de Componentes
- +
- Mantenimiento Rápido y Sencillo
- =
- Coste Reducido de Adquisición y Mayores Beneficios para Usted

LA GAMA A SIMPLE VISTA

Nombre de válvula	Tipo de la válvula	Material del cuerpo	Tamaño válvulas	Conexiones:	Características de flujo	Internos especiales	Sellado de vestago	Actuación
SPIRA-TROL	Válvula de globo de dos vías según ANSI o EN	Hierro fundido Fundición nodular Acero al carbono Acero inoxidable NACE	DN15 a DN200 1/2" a 8" Tamaños mayores bajo pedido	Bridas: ANSI 125 ANSI 150 ANSI 300 PN16 PN25 PN40 JIS 10 JIS 20 KS 10 KS 20 Roscas: BSP NPT Socket weld	Equi- porcentual Lineal Apertura rápida Caudal reducido incluido micro-flujo	Bajo ruido Asiento blando Superficies endurecidas	Chevrones cargados por resorte y 40° ring Grafito Fuelle Tapa extendida	Neumático Eléctrico Modulante Todo/ Nada

OPCIONES DISPONIBLES


Tapa sellada con fuelle

Tapa extendida para servicio de altas y bajas temperaturas y fuelles de acero inoxidable para bajo mantenimiento, altas temperaturas y cero emisiones



Chevrones Grafito

Opciones de sellado de vestago incluyen chevrones de PTFE y aros de grafito para altas temperaturas




Obturador



Características de flujo equi-
porcentual, apertura rápida y
lineal para adaptarse a las
condiciones del proceso


Caudal reducido

Entre tres y cinco caudales re-
ducidos por tamaño de válvula,
con más reducciones disponi-
bles bajo pedido, permiten
adaptarse con precisión a la
carga del proceso



Estándar Reductor de ruido

Soluciones sencillas para
aplicaciones de reducción
de ruido aerodinámico



ASIENTO PINZADO POR JAULA, DISEÑO FLOTANTE

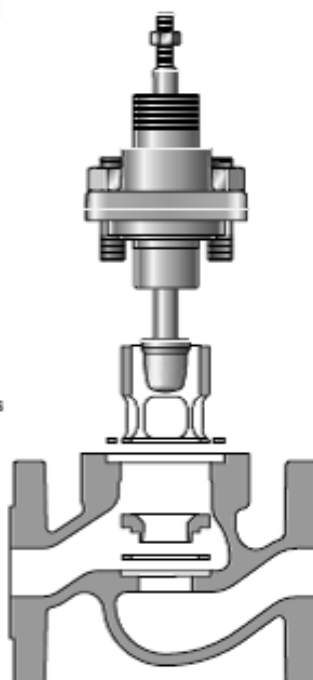
Todos los componentes de cierre están diseñados para que se fijen por compresión en su lugar para que la válvula se pueda configurar rápidamente a las necesidades específicas del proceso del usuario.

El diseño flotante del conjunto asiento y obturador significa que el vástago, obturador y asiento se alinean con facilidad.

Cuando se comparan con diseños alternativos, el diseño flotante proporciona una vida útil más larga del vástago y un rendimiento mejorado del cierre de la válvula.

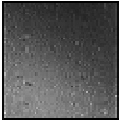
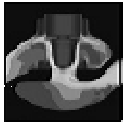


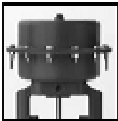


La sencillez de la construcción también significa que el mantenimiento es rápido y sencillo, sin necesidad de herramientas especiales para conseguir el rendimiento necesario.

- De configuración rápida
- No se requieren herramientas especiales
- Fácil de conseguir el rendimiento del diseño después del mantenimiento

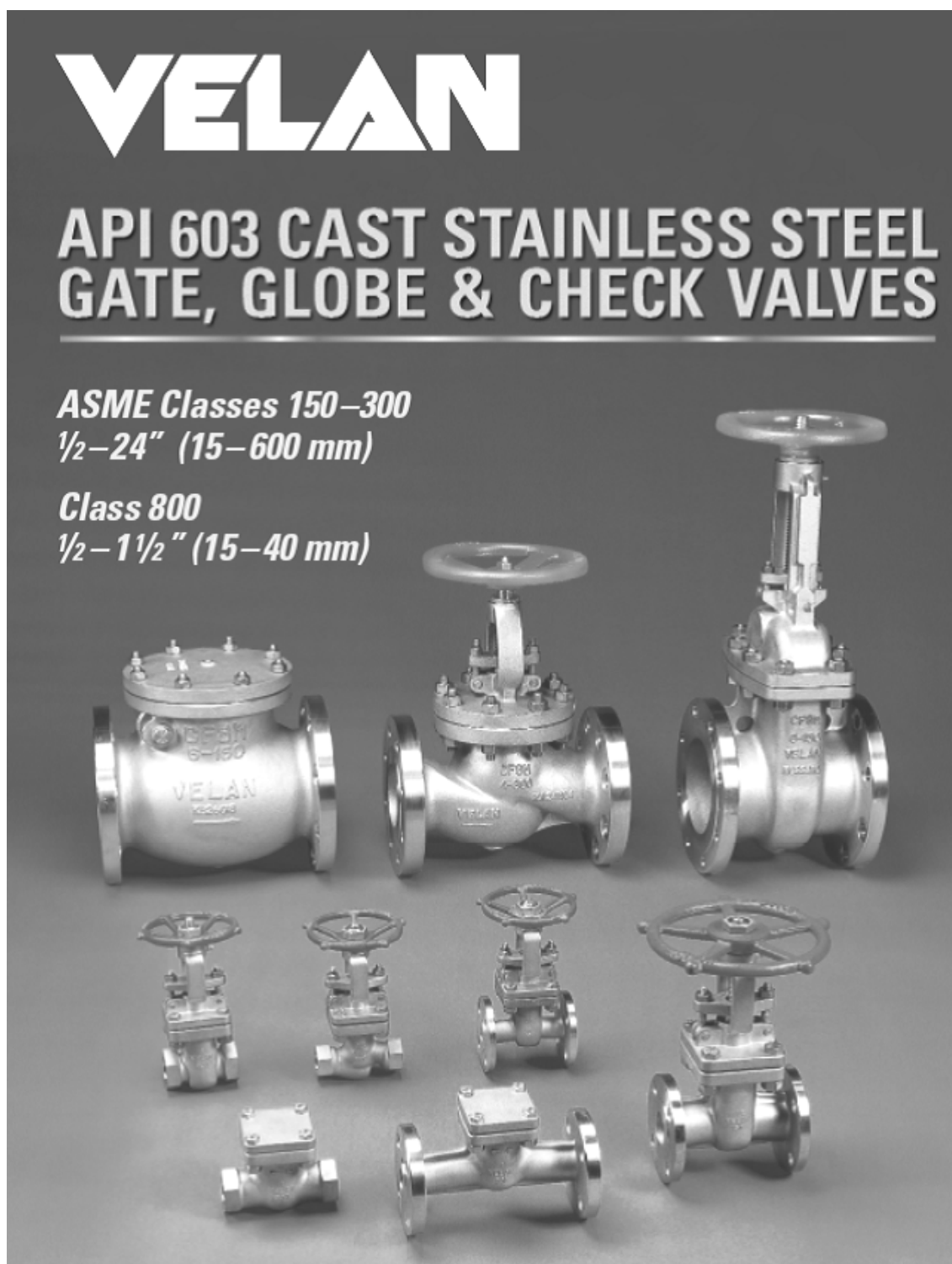
**INDUSTRIAS, FLUIDOS Y APLICACIONES**

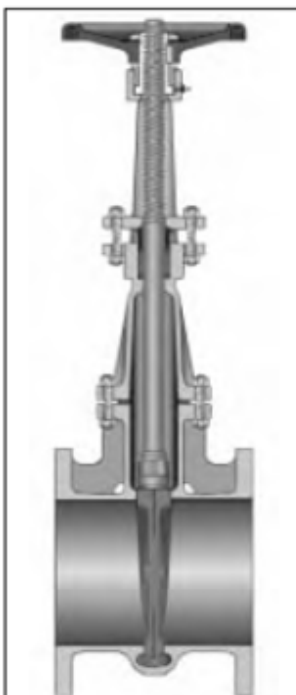
INDUSTRIAS	EXPERIENCIA CON FLUIDOS	APLICACIONES
Alimentación	Vapor saturado	Control de temperatura, presión, nivel, humedad y caudal
Bebidas	Aceites lubricantes	Intercambiadores de calor
Farmacéutica	Vapor recalentado	Calderetas
Medicina	Nitrógeno	Recipientes a presión
Goma	Agua de refrigeración	Reactores
Plásticos	Petróleo	Tanques de almacenamiento
Electrónica	Agua caliente	Hornos
Metales	Gas natural	Aerotermos
Química	Agua desionizada	Enfriadores
Salud	Aceites térmicos	Generadores de agua caliente
Prisiones y centros de educación	Agua de mar	Humidificadores
	Aire comprimido	
	Una variedad de otros productos químicos y gases	

RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

Principales características	Principales razones	Principales beneficios
	<p>Aplicación universal</p> <p>Amplia gama de materiales del cuerpo.</p> <p>Gran número de diseños de internos incluyendo reductor de ruido y anti-cavitación.</p> <p>Accionamiento eléctrico o neumático.</p> <p>Fácil comunicación con el sistema de control usando el dispositivo interfaz de la válvula de control, un posicionador smart, que se puede usar, incluso, en zonas potencialmente explosivas.</p>	<p>Válvula de control estandarizada para su planta, que reduce la normación de los de mantenimiento y el inventario de recambios.</p>
	<p>Control preciso</p> <p>Diseñada usando la dinámica de fluidos computarizada y realización rápida de prototipos para la optimización del paso de fluidos, características de flujo y C_v ratio.</p> <p>Programa informático de dimensionado y selección para determinar la configuración de válvula más adecuada.</p> <p>Actuadores neumáticos y eléctricos precisos.</p> <p>Posicionares con realimentación sin contactos.</p>	<p>Control de rendimiento garantizado a través de una amplia gama de aplicaciones.</p>
	<p>Sellado de vástago de alto rendimiento y larga vida útil</p> <p>Vástago de la válvula guiado por la parte superior e inferior para asegurar un alineamiento perfecto y una larga vida útil de los sellos del vástago.</p> <p>Un aro raspador y una protección contra el polvo aseguran que los sellos del vástago no son dañados por el fluido en uso o partículas provenientes del exterior.</p> <p>Junta tórica asegura un sellado excelente en fluidos a baja presión y temperatura.</p>	<p>Mínimas emisiones por el vástago de la válvula, mejorando el medioambiente y sin pérdidas de producto valioso o energía.</p> <p>Pocos cambios de empaquetadura, por consiguiente permite disponer del personal de mantenimiento para realizar otras tareas.</p>
	<p>Partes internas de larga vida útil</p> <p>Materiales de cierre estándar endurecidos en las válvulas de hierro y acero al carbono.</p> <p>Al difundir el chorro de descarga se reduce la posibilidad de erosión en el cuerpo.</p> <p>Cavidad amplia reduciendo la velocidad de flujo, reduciendo el ruido y la erosión en el cuerpo de la válvula.</p>	<p>Montar y olvidar.</p>
	<p>Número reducido de componentes</p> <p>Diseño modular en todos los tamaños.</p> <p>Válvulas ANSI y EN comparten las mismas partes internas.</p> <p>Solo 3 actuadores neumáticos para válvulas con tamaños hasta DN100 / 4".</p>	<p>Suministro altamente flexible.</p> <p>Minimiza el inventario de recambios.</p>
	<p>Mantenimiento rápido y sencillo</p> <p>Montajes de tamaños estándar eliminan la necesidad de herramientas especiales.</p> <p>Asiento prizado por jaula y partes internas autoalineantes.</p>	<p>Reducción de tiempos de parada.</p>
	<p>Costa reducida de adquisición</p> <p>Para todo tipo de aplicaciones</p> <p>Excelente control en una amplia gama de fluidos y condiciones.</p> <p>Larga vida útil.</p> <p>Número reducido de componentes.</p> <p>Mantenimiento rápido y sencillo.</p>	<p>Mayores beneficios para Usted.</p>

2.4 Válvula de Compuerta, de Globo y Check



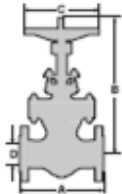
VELAN**CAST STAINLESS STEEL GATE VALVES API 603
INTEGRAL SEAT, 2–24", (50–600 mm)****FLANGED, ASME CLASSES 150, 300, WALL THICKNESS TO B16.34
WITH FLEXIBLE WEDGE****STANDARD MATERIALS**

PART	MATERIAL
Body	A 351 Gr. CF8M
Bonnet	A 351 Gr. CF8M
Wedge	A 351 Gr. CF8M
Stem	Gr. 316
Gland	Gr. 316
Gland flange	A 351 Gr. CF8M
Yoke bushing	Gr. 316
Handwheel	Malleable iron (painted)
Handwheel nut	Carbon steel
Body/bonnet stud	Gr. B8M
Body/Bonnet nut	Gr. 8M
Gland stud	Gr. 304
Gland nut	Gr. 8M
Spring pin	Stainless steel
Gland packing	SX or SY Teflon GX or GY Graphite
Gasket	SX or SY Teflon with stainless wire mesh GX or GY Graphite with stainless steel foil
Name plate	Stainless steel
Stem nut	Ni-resist type D-2C



*Optional integral
Stellited seat face
available for longer
service life.*

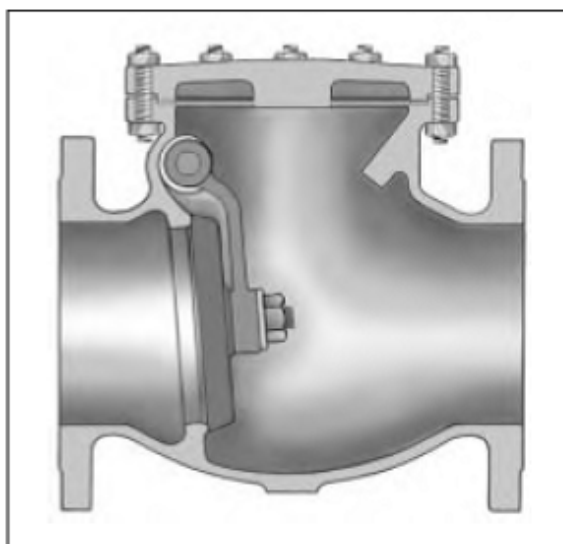
DIMENSIONS AND WEIGHTS

SIZE	FLANGED, ASME 150 (PN 20)					FLANGED, ASME 300 (PN 50)															
in mm	A	B	C	D	WEIGHT lb (kg)	A	B	C	D	WEIGHT lb (kg)											
2 50	7.00 178	13.00 330	8.00 203	2.00 51	30 13.6	8.50 216	14.00 356	8.00 203	2.00 51	44 20.0											
2½ 65	7.50 191	15.75 400	8.00 203	2.50 64	46 20.9	9.50 241	16.75 425	8.00 203	2.50 64	60 27.2											
3 80	8.00 203	17.75 451	8.00 203	3.00 76	52 23.6	11.13 283	18.50 470	8.00 203	3.00 76	86 39.0											
4 100	9.00 229	21.50 546	10.00 254	4.00 102	80 36.4	12.00 305	22.63 575	10.00 254	4.00 102	134 60.8											
6 150	10.50 267	28.25 718	10.00 254	6.00 152	135 61.2	15.88 403	29.75 756	10.00 254	6.00 152	247 112.07											
8 200	11.50 292	36.50 927	14.00 356	8.00 203	222 100.9	16.50 419	39.19 995	14.00 356	8.00 203	390 177.3											
10 250	13.00 330	45.00 1143	18.00 457	10.00 254	324 147.3	18.00 457	45.50 1150	18.00 457	10.00 254	630 285.8											
12 300	14.00 356	60.25 1530	18.00 457	12.00 305	472 214.1	19.75 502	65.38 1661	18.00 457	12.00 305	880 400.0											
14 350	15.00 381	65.00 1651	21.63 549	13.25 337	685 310.7	 <p>B = Center to Top, Open</p> <table><tr><th rowspan="2">CLASS</th><th colspan="2">FIGURE NUMBERS</th></tr><tr><th>STAINLESS SEAT</th><th>STELLITE SEAT</th></tr><tr><td>150</td><td>0064C-13SX or GX</td><td>0064C-13SY or GY</td></tr><tr><td>300</td><td>1064C-13SX or GX</td><td>1064C-13SY or GY</td></tr></table>					CLASS	FIGURE NUMBERS		STAINLESS SEAT	STELLITE SEAT	150	0064C-13SX or GX	0064C-13SY or GY	300	1064C-13SX or GX	1064C-13SY or GY
CLASS	FIGURE NUMBERS																				
	STAINLESS SEAT	STELLITE SEAT																			
150	0064C-13SX or GX	0064C-13SY or GY																			
300	1064C-13SX or GX	1064C-13SY or GY																			
16 400	16.00 406	75.00 1905	23.63 600	15.25 387	1000 453.5																
18 450	17.00 432	81.00 2057	29.50 749	17.25 438	1300 589.6																
20 500	18.00 457	93.00 2362	29.50 749	19.25 489	1500 680.3																
24 600	20.00 508	107.00 2718	31.50 800	23.25 591	2000 907.0																

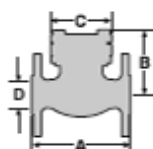
VELAN

CAST STAINLESS STEEL SWING CHECK VALVES API 603 INTEGRAL SEAT, 2-12" (50-300 mm)

FLANGED, ASME CLASSES 150, 300, WALL THICKNESS TO B16.34



*Optional integral
Stellite seat face
available for longer
service life.*



CLASS	FIGURE NUMBERS	
	STAINLESS SEAT	STELLITE SEAT
150	0114C-13SX or GX	0114C-13SY or GY
300	1114C-13SX or GX	1114C-13SY or GY

DIMENSIONS AND WEIGHTS

SIZE in mm	FLANGED, ASME 150 (PN 20)					FLANGED, ASME 300 (PN 50)				
	A	B	C	D	WEIGHT lb (kg)	A	B	C	D	WEIGHT lb (kg)
2 50	8.00 203	4.00 102	4.00 ⁽¹⁾ 102	2.00 51	21 9.5	10.50 267	4.75 121	5.00 ⁽¹⁾ 127	2.00 51	42 19.1
2½ 65	8.50 216	4.50 114	5.50 140	2.50 64	30 13.6	11.50 292	5.50 140	6.50 165	2.50 64	62 28.2
3 80	9.50 241	5.00 127	6.75 172	3.00 76	43 19.5	12.50 318	6.25 159	8.00 203	3.00 76	80 36.4
4 100	11.50 292	5.75 146	8.00 203	4.00 102	68 30.9	14.00 356	7.00 178	9.00 229	4.00 102	118 53.6
6 150	14.00 356	7.56 192	10.00 254	6.00 152	128 58.2	17.50 445	8.63 219	11.00 279	6.00 152	212 96.4
8 200	19.50 495	9.50 241	13.25 337	8.00 203	226 102.7	21.00 533	10.63 270	13.00 330	8.00 203	330 150.0
10 250	24.50 622	10.75 273	16.00 406	10.00 254	317 143.8	24.50 622	12.00 305	17.00 432	10.00 254	528 240.0
12 300	27.50 699	13.00 330	19.00 482	12.00 305	530 240.9	28.00 711	15.00 381	20.00 508	12.00 305	802 364

(1) Square

STANDARD MATERIALS

PART	MATERIAL
Body	A 351 Gr. CF8M
Cover	A 351 Gr. CF8M
Disc	A 351 Gr. CF8M
Hinge	A 351 Gr. CF8M
Pin	Gr. 316
Plug	Gr. 316
Disc nut	Gr. 8M
Washer	Gr. 316
Cotter pin	Gr. 316
Cover stud	Gr. B8M
Cover nut	Gr. 8M
Gasket	SX or SY GX or GY Teflon with stainless wire mesh Graphite with stainless steel foil
Nameplate	Stainless steel

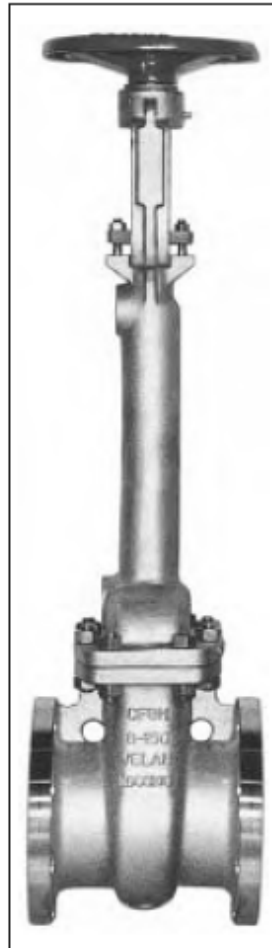
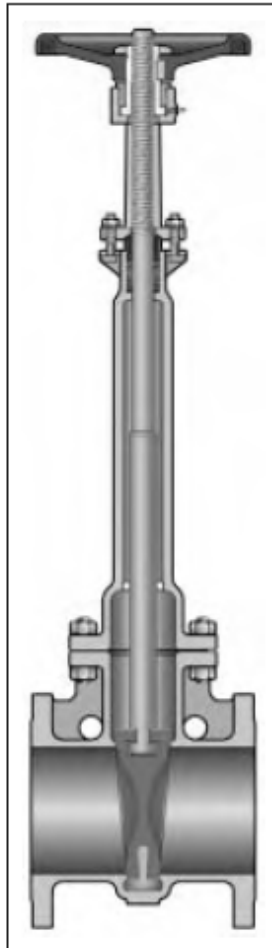


CAST STAINLESS STEEL CRYOGENIC GATE, GLOBE & CHECK VALVES API 603, INTEGRAL SEAT ½–24" (15–600 mm) ASME CLASSES 150, 300

The production, transport and storage of liquified gases such as oxygen, nitrogen, argon, natural gas, hydrogen or helium (down to -425°F), presents several technical problems. Velan specially-adapted extended bonnet cast valves offer safe and efficient service.

MATERIALS:

- **Body and bonnet:** Austenitic stainless steel castings used for bodies and bonnets offer excellent impact strength, minimal heat loss and protection against corrosion.
- **Stem:** Austenitic stainless steel. To reduce galling, stems are also offered in Nitronic 50 (A479 grade XM-19).



- **Wetted parts:** All Austenitic stainless steel and/or Stellite 6. Bronze wedges available.
- **Stem nut/yoke bushing:** Austenitic ductile iron Gr. D-2C (2" and up), Gr. 416 Nickel plated (½ to 1½").
- **Packing:** Teflon or graphite packing protected from low temperatures by a column of insulating gas.
- **Seating faces:** Stellite 6 seats are available, 2" and larger. When 0-tight shutoff is required, globe and check valves can be supplied with soft inserts (Teflon or Neoflon).
- **Bolting:** Strain-hardened Austenitic stainless steel.
- **Lubrication of stem nut:** Exxon Nebula Lubriplate No. 930-AA, Shell Darina EPI or equivalent.

DESIGN FEATURES:

- **Extended bonnets** with sufficient gas column length, usually specified by customer, are supplied for all valves to keep stem packing at sufficient distance away from the cold fluid to remain functional.
- **Flexible wedges.**
- **Resilient inserts** are available for globe, piston and swing check discs.
- **Cleaning:** All cryogenic valves are thoroughly degreased and cleaned and pipe ends are sealed to prevent contamination.

TABLE OF LIQUIFIED GASES

Type	Boiling Point		Liquid Density lb/ft. ³
	°C	°F	
Natural gas (LNG)	-168	-270	26
Methane (CH ₄)	-161.5	-258	26.20
Oxygen (O ₂)	-182.9	-296	71.20
Argon (A)	-185.9	-303	87.40
Carbon Dioxide (CO ₂)	-78.5	-109	50.60
Air	-194.4	-318	57.87
Nitrogen (N ₂)	-195.8	-320	50.45
Hydrogen(H ₂)	-252.7	-423	4.43
Helium (He)	-268.9	-452	7.82
Absolute zero	-273.16	-460	—

MANUFACTURING PROGRAM

API 603 CLASS 150 & 300 CAST STAINLESS STEEL GATE, GLOBE & CHECK VALVES⁽¹⁾

FLANGED

VALVE TYPE & CLASS		FIGURE NUMBER	SIZE (in, mm)																
			½ 15	¾ 20	1 25	1½ 40	2 50	2½ 65	3 80	4 100	6 150	8 200	10 250	12 300	14 350	16 400	18 450	20 500	24 600
GATE	150	0064C-13SX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	300	1064C-13SX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
GLOBE	150	0074C-13SX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓								
	300	1074C-13SX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓								
CHECK	150	0114C-13SX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
	300	1114C-13SX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						

(1) Also available in 13GX, SY and GY.

API 603 CLASS 800 CAST STAINLESS STEEL GATE, GLOBE & CHECK VALVES⁽²⁾








THREADED & SOCKET WELD

Gate	2064C-13GX	✓	✓	✓	✓													
Globe	2074C-13GX	✓	✓	✓	✓													
Swing	2114C-13GX	✓	✓	✓	✓													

(2) Threaded end and socket weld end Class 800 valves are supplied with CF3M body to ASTM A 351.

Please verify pressure-temperature rating.

HOW TO ORDER

Type of Connection	Size of Connection	Class	Type	Body/Bonnet Style	Body Material	Trim Material
A	B	C	D	E	F	G
						
e.g.: F	1 0	— 0	0 6	4 C	— 1 3	S X
(Flanged 3" 150 class cast stainless steel full bore gate valve.)						

The figure numbers shown on this key are designed to cover essential features of Velan valves. Please use figure numbers to ensure prompt and accurate processing of your order. A detailed description must accompany any special orders.

You may specify valve size of connection separately or as part (B) of the figure number.

Examples:

F10-0064C-13SX (valve size is part of figure number)
3"F-0064C-13SX (valve size is shown separately)

A TYPE OF CONNECTION

A Special F Flanged, B16.5 U Undrilled flanged
C Combination S Threaded W Socket weld

B SIZE OF CONNECTION (SEE EXPLANATION ABOVE)

03 ½" 08 2" 12 4" 16 10" 21 18"
04 ¾" 09 2½" 13 5" 18 12" 22 20"
05 1" 10 3" 14 6" 19 14" 23 22"
07 1½" 11 3½" 15 8" 20 16" 24 24"

C CLASS

0 150 1 300 2 800

D VALVE TYPE

06 Full port gate 08 Stop check 11 Swing check
07 Stop (globe) 09 Needle 99 Special

E BODY/BONNET STYLE

4C Vertical bolted bonnet
4E Extended bonnet for cryogenic service

F BODY MATERIAL

01 Special 14 Stainless steel, CF3M
11 Stainless steel, CF8 15 Stainless steel, CF8C
12 Stainless steel, CF3 23 Alloy 20
13 Stainless steel, CF8M 28 Stainless steel, CG8M

G TRIM MATERIAL

Code	Wedge/Disc Seating Surface	Seat Surface	Stem ⁽³⁾	Packing Gasket
SX	Same as body	Integral	SS 316	Teflon
GX	Same as body	Integral	SS 316	Graphite
SY	Same as body	Stellite	SS 316	Teflon
GY	Same as body	Stellite	SS 316	Graphite
AA	Special	Special	Special	Special

3) Stem material is SS 316 or other material equivalent to body at manufacturers option.

3 Caldera

VIESSMANN
VITOMAX 100-LW

Caldera a gasóleo/gas para temperaturas admisibles de impulsión de hasta
120 °C
De 650 a 2000 kW

Datos técnicos

Nº de pedido: véase Lista de precios, precios a petición



Archivar en:
Carpeta Vitotec, Registro 23


VITOMAX 100-LW Modelo M155

Caldera a gasóleo/gas
Para funcionamiento a temperatura constante

5828 274-4 E 4/2007

Datos técnicos

Datos técnicos

Potencia térmica útil	kW	650	1000	1400	2000
Carga térmica nominal	kW	710	1090	1530	2185
Homologación CE		Véase página 7			
Temperatura de impulsión admisible ^{*1}	°C	Véase página 7			
Presión de servicio adm.	bar	8	8	8	8
Pérdida de carga en pasos de humos (sobrepresión)	Pa mbar	200 2,0	340 3,4	470 4,7	600 6,0
Dimensiones totales					
Longitud total	mm	2480	2720	2980	3265
Anchura total	mm	1480	1620	1780	1950
Altura total	mm	1680	1820	1980	2150
Altura de los soportes antivibratorios (con carga)	mm	37	37	37	37
Banca					
Longitud	mm	2200	2400	2700	3000
Anchura	mm	1150	1200	1300	1300
Diámetro de la cámara de combustión	mm	700	825	914	1030
Longitud de la cámara de combustión	mm	1590	1800	2020	2270
Peso	kg	1900	2600	3300	4400
Caldera con aislamiento térmico					
Volumen de agua de la caldera	litros	1370	1720	2470	3280
Conexiones					
Impulsión y retorno de caldera	PN 16 DN	80	100	125	150
Toma de seguridad (válvula de seguridad)	PN 16 DN	32	32	40	50
Conexión de vaciado	R	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4
Índices de humos^{*2}					
Temperatura (con una temperatura de caldera de 80/60 °C)					
– Con la potencia térmica útil	°C	190	190	190	190
– Con carga parcial	°C	130	130	130	130
Caudal máximo					
– Con la potencia térmica útil	kg/h	1090	1670	2350	3350
– Con carga parcial	kg/h	545	835	1180	1680
Tiro necesario	Pa/mbar	0	0	0	0
Conexión de humos	Ømm	250	300	350	400
Contenido de gas	m³	1,06	1,53	2,15	3,06
Cámara de combustión y pasos de humos					

^{*1} La temperatura de impulsión máxima que se puede alcanzar es aproximadamente 15° C inferior a la temperatura de impulsión admisible (= temperatura de seguridad).

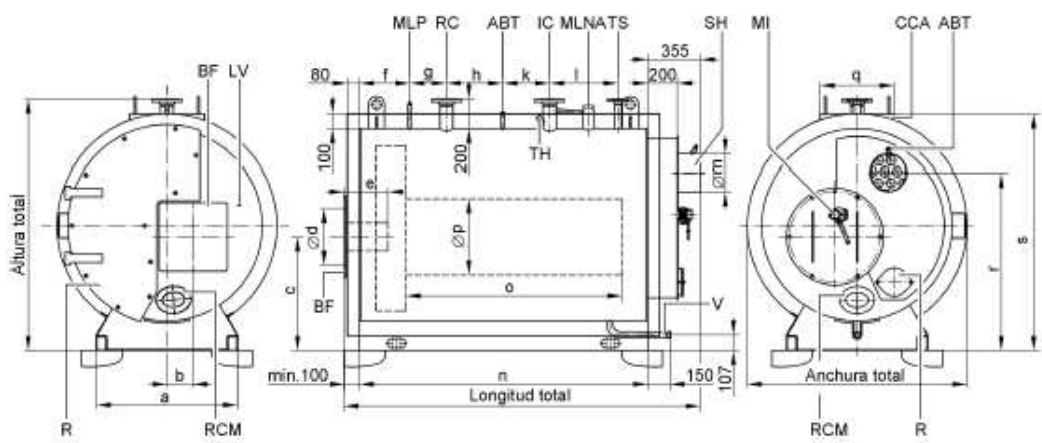
^{*2} Valores de cálculo para el dimensionado del sistema de salida de humos de acuerdo con la norma EN 13384 referidos a un 13% de CO₂ con gasóleo C y a un 10% de CO₂ con gas natural.

Temperaturas de humos indicadas en valores brutos medidos a una temperatura del aire de combustión de 20 °C.

Los datos relativos a la carga nominal se refieren a una potencia del 90% de la potencia térmica útil. Si varía la carga parcial (según el modo de funcionamiento), se tiene que calcular el caudal máximo de humos correspondiente.

Con una temperatura de caldera de 80 °C, la temperatura de humos es decisiva para dimensionar el sistema de salida de humos y para determinar el campo de aplicación de los tubos de salida de humos con las temperaturas de servicio máximas admisibles.

Datos técnicos (continuación)



- SH

Salida de humos
- BF

Placa de quemador
- MLP

Manguito R $\frac{1}{4}$ para dispositivo de limitación de presión máxima
- V

Conexión de vaciado R $\frac{1}{4}$
- RCM

Registro de inspección visual (boca de mano) 100 x 150
- CCA

Cubierta de la caldera (transitable)
- RC

Retorno de caldera
- IC

Impulsión de caldera
- LV

Manguito R $\frac{1}{4}$ para la regulación de presión de la proporción de aire
- ABT

Abertura de toma R $\frac{1}{4}$
- R

Registro de limpieza
- TS

Toma de seguridad (válvula de seguridad)
- MI

Mirilla de inspección
- TH

Vaina de inmersión para la conexión de la regulación
- MLNA

Manguito R2 para el limitador del nivel de agua

Tabla de dimensiones					
Potencia térmica útil	kW	650	1000	1400	2000
a	mm	950	1000	1060	1110
b	mm	175	180	200	210
c	mm	765	835	930	1000
d	Ø máx. mm	380	410	410	434
e	mín. mm	265	280	295	320
f	mm	320	370	380	440
g	mm	295	330	320	350
h	mm	380	500	720	860
k	mm	305	330	340	350
l	mm	400	410	425	460
m	Ømm	250	300	350	400
n	mm	1970	2210	2460	2750
o	mm	1590	1800	2020	2270
p	Ømm	700	826	914	1030
q	mm	500	500	600	600
r	mm	1190	1270	1400	1540
s	mm	1580	1720	1780	2050

5828 274-4 E

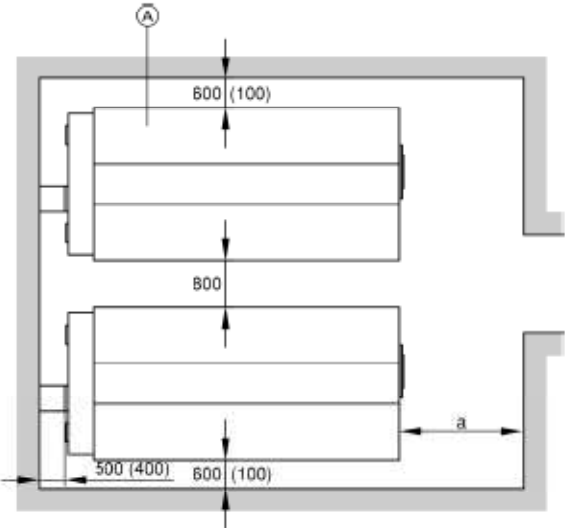
VITOMAX 100-LW

VIESSMANN 3

Datos técnicos (continuación)

Emplazamiento

Distancias mínimas



(A) Caldera

Para un montaje y un mantenimiento sencillos, deben respetarse las medidas indicadas: si se dispone de poco espacio, sólo deben respetarse las distancias mínimas (medidas entre paréntesis). No obstante se deberá atender a lo dispuesto en el Reglamento de Aparatos a Presión (RAP) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Tabla de dimensiones

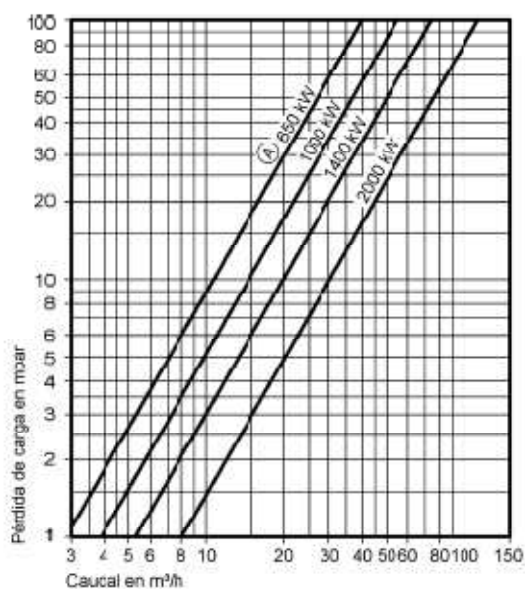
Potencia térmica útil	kW	650	1000	1400	2000
a	mm	1600	1800	2000	2300

Medida Se debe dejar esta distancia delante de la caldera para desmontar los turbuladores y limpiar los pasos de humos.
a:

Emplazamiento

- No debe haber contaminación del aire por hidrocarburos halogenados clorofluorados (p. ej., presentes en aerosoles, pinturas, disolventes y productos de limpieza).
- Debe evitarse la excesiva acumulación de polvo.
- La humedad del aire no debe ser elevada.
- El lugar de emplazamiento debe estar protegido de las heladas y bien ventilado.

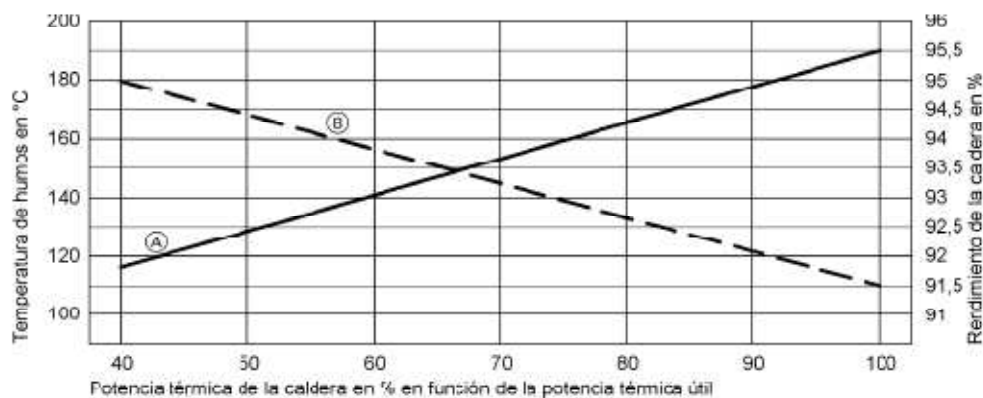
De lo contrario, podrían producirse averías y daños en el equipo. En locales en los que se prevea contaminación del aire por hidrocarburos halogenados clorofluorados sólo se podrá instalar esta caldera si se toman las medidas necesarias para garantizar el suministro de aire de combustión no contaminado.

Datos técnicos (continuación)**Pérdida de carga del circuito primario de caldera**

(A) Potencia térmica útil

Temperatura de humos y rendimiento de la caldera

En función de la potencia térmica de la caldera, con una temperatura de caldera de 80/60 °C y un contenido de oxígeno residual en los humos del 3%.



(A) Temperatura de humos en °C
(B) Rendimiento de la caldera en %

5628 274-4 E

VITOMAX 100-LW**VIEMANN** 5

Indicaciones para la planificación (continuación)

Temperaturas de impulsión admisibles

Calderas a gasóleo/gas para temperaturas de impulsión admisibles (= temperaturas de seguridad):

■ Hasta 110 °C

Homologación CE:

CE-0085 según la Directiva de Aparatos a Gas.

■ Hasta 120 °C

Homologación CE:

CE-0035 según la Directiva de Equipos a Presión.

Para el servicio con una temperatura de seguridad de 120 °C se requieren equipos de seguridad adicionales.

Según el reglamento de seguridad funcional, estas calderas deben estar sujetas a inspección. Según el esquema de evaluación de la conformidad n° 5 de la Directiva europea de Equipos a Presión, éstas corresponden a la categoría IV.

El montaje, la instalación y el servicio han de ser autorizados por la autoridad competente. La instalación debe haberse comprobado antes de la primera puesta en funcionamiento. Anualmente se ha de realizar una comprobación exterior y, como mucho cada 3 años, una prueba hidráulica (reemplazando a la comprobación interior).

Un instituto de control autorizado (p. ej., TÜV) ha de realizar la prueba.

Otros datos sobre la planificación


Véanse las Instrucciones de planificación de "Vitoplex, Vitorond y Vitomax".

Accesorios de la caldera

Otros accesorios (equipos de seguridad técnica)

Véanse en la Lista de precios y los Datos técnicos "Accesorios para calderas".

Calidad probada

 Homologación CE conforme a las directivas CE vigentes.

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA
CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL

ANEXO VIII: ESPECIFICACIONES Y HOJAS DE SEGURIDAD

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

1	GASÓLEO DE CALEFACCIÓN (GO C)	256
1.1	ESPECIFICACIONES.....	256
1.2	HOJA DE SEGURIDAD	258
2	HOJA DE SEGURIDAD GAS NATURAL.....	264

1 Gasóleo de Calefacción (GO C)

1.1 Especificaciones

ESPECIFICACIONES DE LOS GASÓLEOS PARA USOS AGRÍCOLA Y MARÍTIMO (CLASE B)
Y DE CALEFACCIÓN (CLASE C)

Características	Unidades de medida	Gasóleo Clase B	Gasóleo Calefacción Clase C	Métodos de ensayo	
				Normas UNE (2)	Normas ASTM (2)
Densidad a 15° (máx/mín)	kg/m ³	880/820	900/--	EN ISO 3675 EN ISO 12185	D-4052
Color		Rojo	Azul		D-1500
Azufre, máx	% m/m	0,20 (1)	0,20 (1)	EN 874 EN 24260 EN ISO 4264	D-4737
Índice de cetano, mín.		46		ISO 5165	D-613
Número de cetano, mín.		49			
Destilación				EN ISO 3405	D-86
65% recogido, mín	°C	250	250		
80% recogido, máx	°C		390		
85% recogido, máx	°C	350			
95% recogido, máx	°C	370	Anotar		
Viscosidad cinemática a 40 °C min/máx	mm ² /s	2,0/4,5	--/7,0	EN ISO 3104	D-445
Punto de inflamación, mín	°C	60	60	EN 22179	D-93
Punto de obstrucción filtro frío				EN 116	
Invierno (1 octubre-31 marzo), máx	°C	-10	-6		
Verano (1 abril-30septiembre), máx	°C	0	-6		
Punto de enturbiamiento				EN 23015	D-2500 D-5772
Invierno (1 octubre-31 marzo), máx	°C		4		
Verano (1 abril-30septiembre), máx	°C		4		
Residuo carbonoso (sobre 10% V/V final destilación), máx	% m/m	0,30	0,35	EN ISO 10370	D-4530
Agua y sedimentos, máx	% V/V		0,1	UNE 51083	D-2709
Agua, máx	mg/kg	200		EN ISO 12937	D-1744
Contaminación total (partículas sólidas), máx	mg/kg	24		EN 12662	
Contenido de cenizas, máx	% m/m	0,01		EN ISO 6245	D-482
Corrosión lámina de cobre (3 horas a 50 °C), máx.	Escala	Clase 1	Clase 2	EN ISO 2160	D-130
Transparencia y brillo		Cumple			D-4176
Estabilidad a la oxidación, máx	g/m ³	25		EN ISO 12205	D-2274
Aditivos y agentes trazadores	Regulados por la Orden del Ministerio de la Presidencia PRE/1724/2002, de 5 de julio, modificada por la Orden del Ministerio de la Presidencia PRE/3493/2004, de 22 de octubre.				

NOTAS:

(1) Con las excepciones recogidas en el artículo 3 de este real decreto.

El método de referencia adoptado para determinar el contenido de azufre en el gasóleo clase B para uso marítimo será el definido en las normas UNE EN ISO 8754 (1996) y UNE EN ISO 14596 (1999).

Del mismo modo, el método de referencia adoptado para determinar el contenido de azufre en el gasóleo clase C será el definido en las normas UNE EN 24260 (1996), UNE EN ISO 8754 (1996) y UNE EN ISO 14596 (1999).

El método de arbitraje será el UNE EN ISO 14596 (1999). La interpretación estadística de la comprobación del contenido de azufre de los gasóleos utilizados se efectuará conforme a la norma UNE EN ISO 4259 (1997).

(2) Los métodos de ensayo a aplicar serán los correspondientes a la última versión publicada.

1.2 Hoja de Seguridad

Nombre del producto : GASOLEO C	Fecha de emisión: 25/01/2008.
Cod. CEPISA : 41719	Versión: 2

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la Compañía

Familia química:	Destilados del petróleo.
N° CAS :	68476-30-2
EINECS :	270-671-4
Estado físico:	Líquido.
Uso de la sustancia o preparado:	COMBUSTIBLE DE CALEFACCION.
Dirección:	Campo de las Naciones - Avda. del Partenón 12 28042 Madrid – España
Núm. de Teléfono:	Teléfono: 91 337 6000, Fax: 91 721 1613 Información al Cliente: 91 337 6000
Teléfono de emergencia:	+34 91 337 6000

2. Identificación de los peligros

La sustancia se ha clasificado como peligrosa de acuerdo con la Directiva 67/548/EEC y sus enmiendas.
 Clasificación : Carc. Cat. 3; R40
 Peligros para la salud humana : Posibles efectos cancerígenos.

3. Composición/información sobre los componentes

Mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, principalmente C9-C20 y un intervalo en el punto de ebullición de 150 a 380 ° C. Azufre: 0.1 % m/m.

Sustancia/preparado: Sustancia

Nombre del ingrediente	Número CAS	%	Número CE	Clasificación
petróleo combustible, número 2	68476-30-2	100	270-671-4	Carc. Cat. 3; R40

4. Primeros auxilios

Inhalación :	Trasladar a la persona afectada al aire libre. Mantenga a la persona caliente y en reposo. Si no hay respiración, ésta es irregular u ocurre un paro respiratorio, el personal capacitado debe proporcionar respiración artificial u oxígeno. Puede ser peligroso para la persona que proporciona ayuda aplicar la respiración boca-a-boca. Obtenga atención médica si se presentan síntomas. Si está inconsciente, coloque en posición de recuperación y consiga atención médica inmediatamente. Asegure una buena circulación de aire. Aflojar todo lo que pudiera estar apretado, como el cuello de una camisa, una corbata, un cinturón.
Ingestión :	Lave la boca con agua. Retirar las prótesis dentales si es posible. Trasladar a la persona afectada al aire libre. Mantenga a la persona caliente y en reposo. Si se ha ingerido material y la persona expuesta está consciente, suminístrele pequeñas cantidades de agua para beber. Deje de proporcionarle agua si la persona expuesta se encuentra mal ya que los vómitos pueden ser peligrosos. No inducir al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. Si vomita, mantener la cabeza baja de manera que el vómito no entre en los pulmones. Procurar atención médica. No suministrar nada por vía oral a una persona inconsciente. Si está inconsciente, coloque en posición de recuperación y consiga atención médica

	inmediatamente. Asegure una buena circulación de aire. Aflojar todo lo que pudiera estar apretado, como el cuello de una camisa, una corbata, un cinturón.
Contacto con la piel :	Lave con agua abundante la piel contaminada. Quítese la ropa y calzado contaminados. Obtenga atención médica si se presentan síntomas. Lavar la ropa antes de volver a usarla. Limpiar completamente el calzado antes de volver a usarlo.
Contacto con los ojos :	Lave abundantemente con agua por lo menos durante 15 minutos, levantando los párpados superior e inferior. Verificar si la víctima lleva lentes de contacto y en este caso, retirárselas. Obtenga atención médica si se produce irritación.
Protección del personal de primeros auxilios :	No debe realizarse acción alguna que suponga un riesgo personal o sin una formación adecuada.

5. Medidas de lucha contra incendios

Medios de extinción

Apropiado(s):	Utilizar agua pulverizada, dióxido de carbono, espuma o polvo químico seco.
No apropiado(s) :	No utilizar chorro de agua directa.
Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios:	Los bomberos deben llevar equipo de protección apropiado y un equipo de respiración autónomo con una máscara facial completa que opere en modo de presión positiva.
Medidas de lucha contra incendios:	Cortar fuente de combustible o inflamable. Si no se puede extinguir el incendio, dejar que se consuma de forma controlada. Refrigerar con agua los equipos y elementos expuestos al fuego.
Peligros de exposición especiales :	La combustión incompleta y termólisis libera monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, hollín y aldehídos.

6. Medidas en caso de vertido accidental

Precauciones personales :	Contacte inmediatamente con el personal de emergencia. Mantener apartado al personal no necesario. Use equipo protector adecuado.
Precauciones ambientales :	Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, los canales, los desagües y las alcantarillas.

7. Manipulación y almacenamiento

Almacenamiento :	Manténgase el recipiente bien cerrado. Mantener el contenedor en un área fresca y bien ventilada. Utilizar el contenedor original.
------------------	---

8. Controles de la exposición/protección personal

Observaciones :	La concentración ambiental (oil mist) debe ser inferior a 5mg/m ³ .
Valores límite de la exposición :	No disponible.

Si este producto contiene ingredientes con límites de exposición, puede ser necesaria la supervisión personal, del ambiente de trabajo o biológica para determinar la efectividad de la ventilación o de otras medidas de control y/o la necesidad de usar equipo respiratorio protector. Se debe hacer referencia al Estándar europeo EN 689 por métodos para evaluar la exposición por inhalación a agentes químicos y la guía nacional de documentos por métodos para la determinación de sustancias peligrosas.

Protección respiratoria:	Equipo de respiración autónomo en espacios confinados, áreas escasamente ventiladas y limpieza de derrames
Protección de las manos:	Guantes de PVA.
Protección de los ojos:	Gafas de seguridad.Según Norma EN-166:01.
Protección cutánea:	Usar ropa resistente e impermeable a hidrocarburos.Según Norma EN-340:93. Lave las manos, antebrazos y cara completamente después de manejar productos químicos, antes de comer, fumar y usar el lavabo y al final del período de trabajo. Usar las técnicas apropiadas para remover ropa contaminada. Lavar las ropas contaminadas antes de volver a usarlas. Verifique que las estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad se encuentren cerca de las estaciones de trabajo.
Control de la exposición medioambiental :	Emisiones de los equipos de ventilación o de procesos de trabajo deben ser evaluados para verificar que cumplen con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente. En algunos casos será necesario el uso de eliminadores de humo, filtros o modificaciones del diseño del equipo del proceso para reducir las emisiones a un nivel aceptable.

9. Propiedades físicas y químicas

Información general

Apariencia

Estado físico:	Líquido.
Color:	Azul.
Olor:	Característico.
Punto de ebullición:	259.85 a 370.85°C (499.7 a 699.5°F)
Temperatura de inflamabilidad:	Vaso cerrado: 65.85°C (150.5°F). Crisol abierto: >60°C (140°F)
Límites de explosión:	Punto mínimo: 0.5% Punto máximo: 5%
Densidad relativa:	0.879 (Agua = 1)
Solubilidad:	Insoluble en agua fría, agua caliente.
Temperatura de autoignición:	337.63°C (639.7°F)

10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad:	El producto es estable. Mantener alejado del calor, chispas, llamas al descubierto, o de cualquier otra fuente de ignición.
--------------	--

11. Información toxicológica

Efectos agudos potenciales para la salud

Inhalación:	No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Ingestión:	No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Contacto con la piel:	No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Contacto con los ojos:	No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Efectos crónicos potenciales para la salud

Nombre del producto o ingrediente	Efectos carcinogénicos	Efectos mutagénicos	Toxicidad para el desarrollo	Perjudicial para la fertilidad
petróleo combustible, número 2	Carc. Cat. 3; R40	-	-	-
Carcinogénesis:	Puede causar cáncer, basándose en datos sobre animales. El riesgo de cáncer depende de la duración y el grado de exposición.			
Mutagénesis:	No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.			

Toxicidad para la reproducción: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Signos/síntomas de sobreexposición

Inhalación: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Ingestión: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Piel: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

12. Información ecológica

Otros efectos nocivos: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Otra información ecológica: Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. (recomendación CONCAWE)




13. Consideraciones relativas a la eliminación


Métodos de eliminación: Se debe evitar o minimizar la generación de desechos cuando sea posible. Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, los canales, los desagües y las alcantarillas. La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del ambiente y disposición de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales.

Residuos Peligrosos: La clasificación del producto puede cumplir los requisitos de residuo peligroso.

14. Información relativa al transporte

Reglamento internacional de transporte

Información reglamentaria	Número ONU	Denominación para el transporte	Clase	GE*	Etiqueta	Información adicional
Clase ADR/RID	UN1202	COMBUSTIBLES PARA MOTORES DIESEL	3	III		<u>Número de identificación de peligros</u> 30 <u>Cantidad limitada</u> LQ7 <u>Tremcard del CEFIC</u> 30S1202
Clase ADN	UN1202	DIESEL FUEL	3	III		-
Clase IMDG	UN1202	DIESEL FUEL	3	III		<u>Planes de emergencia ("EmS")</u> F-E, S-E

Clase IATA	UN1202	Diesel fuel	3	III		<u>Aeronave de pasajeros y carga</u> Limitación de cantidad: 60 Instrucciones de embalaje: 309 <u>Sólo aeronave de carga</u> Limitación de cantidad: 220 Instrucciones de embalaje: 310 <u>Cantidades limitadas</u> - <u>Aeronave de pasajeros</u> Limitación de cantidad: 10 Instrucciones de embalaje: Y309
------------	--------	-------------	---	-----	--	--

GE* : Grupo de embalaje

Observaciones :

15. Información reglamentaria

Reglamento de la UE
Simbolo/símbolos de peligro/peligros



Nocivo

Frases de riesgo:

R40- Posibles efectos cancerígenos.

Frases de seguridad

S2- Manténgase fuera del alcance de los niños.

S36/37- Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.

Contiene:

petróleo combustible, número 2

270-671-4

Uso del producto:

La clasificación y el etiquetado se han realizado de acuerdo con las normativas 67/548/EEC y 1999/45/EC de la UE, incluidas las enmiendas correspondientes y la información relativa al uso previsto.

- Aplicaciones para el consumidor.

Otras regulaciones de la UE

Advertencia de peligro
táctil:

Sí, se aplica.

Unión Europea

Conforme a la Directiva de la UE 91/155/CEE, y la enmienda 2001/58/CE

Reglamentaciones nacionales

Conforme a los R.D. 363/95 y 255/03.

Orden 21-2-1997 y modificaciones posteriores.

16. Otra información

Texto íntegro de las frases R R40- Posibles efectos cancerígenos.

que aparecen en las
secciones 2 y 3 - España

Texto íntegro de las
clasificaciones a las que se
hace referencia en las
secciones 2 y 3 - España

Carc. Cat.3 - Carcinógeno Categoría 3

Historial

Fecha de la emisión anterior: 25/01/2008.

Seguridad Corporativa - Madrid

Teléfono: 91 374 90 13

Fax: 91 337 66 54

correo electrónico: seguridad.productos@cepsa.com

☑ Indica la información que ha cambiado desde la edición de la versión anterior.

Aviso al lector

Según nuestro conocimiento y experiencia, la información aquí contenida es correcta. No obstante, ni el proveedor ni ninguna de sus subsidiarias asumen ninguna responsabilidad sobre la exactitud o integridad de la información aquí contenida. La determinación final relativa a la idoneidad de todo material es responsabilidad exclusiva del usuario. Todos los materiales pueden presentar peligros desconocidos y deben usarse con cautela. Si bien aquí se describen ciertos peligros, no podemos garantizar que éstos sean los únicos que existan.

2 Hoja de Seguridad Gas Natural



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS

GAS NATURAL

Números de identificación ONU: 1971 y 1972

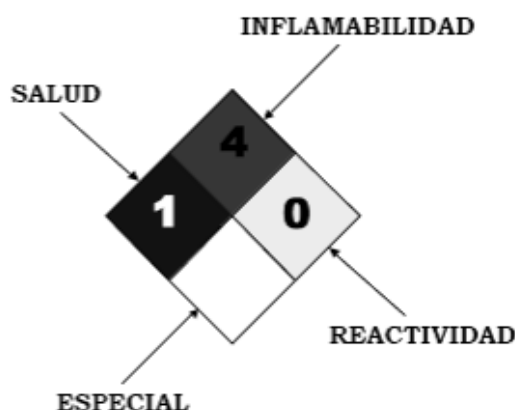
TELÉFONOS DE EMERGENCIA (LAS 24 HORAS):

PEMEX	SETIQ ¹	CENACOM ²
Centro de Control del Sistema Nacional de Ductos: 01-800-012 2900	D. F. y Área Metropolitana 55-59-1588 En la República Mexicana 01-800-00-21400	D. F. y Área Metropolitana 55-50-1496, 55-50-1485 55-50-1552 y 55-50-4885 En la República Mexicana 01-800-00-41300

Rombo de Clasificación de Riesgos NFPA-704 ³

GRADOS DE RIESGO:

- 4. MUY ALTO
- 3. ALTO
- 2. MODERADO
- 1. LIGERO
- 0. MINIMO



1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Hoja de Datos de Seguridad para Sustancias Químicas No:	HDSSQ-001
Nombre del Producto	Gas Natural
Nombre Químico	Metano
Familia Química	Hidrocarburos del Petróleo
Fórmula Molecular	Mezcla ($\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8$)

¹ Sistema de Emergencia de Transporte para la Industria Química.

² Centro Nacional de Comunicaciones; dependiente de la Coordinación General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación.

³ NFPA = National Fire Protection Association, USA.

Sinónimos

Gas natural licuado, gas natural comprimido, gas de los pantanos, grisú, hidruro de metilo, Liquefied Natural Gas (LNG)

2. COMPOSICION E INFORMACION DE LOS COMPONENTES

MATERIAL	%	Número CAS (Chemical Abstracts Service)	LEP (Límite de Exposición Permisible)
Gas Natural (Metano)	88	74-82-8	Asfixiante Simple
Etano	9		
Propano	3		
Etil Mercaptano	17-28 ppm		Odorífico

El CAS del Etil Mercaptano es 75-08-01 y el ACGIH TLV: 0.5 ppm

3. IDENTIFICACION DE RIESGOS

HR: 3 = (HR = Clasificación de Riesgo, 1 = Bajo, 2 = Mediano, 3 = Alto).

El gas natural es más ligero que el aire (su densidad relativa es 0.61, aire = 1.0) y a pesar de sus altos niveles de inflamabilidad y explosividad las fugas o emisiones se disipan rápidamente en las capas superiores de la atmósfera, dificultando la formación de mezclas explosivas en el aire. Esta característica permite su preferencia y explica su uso cada vez más generalizado en instalaciones domésticas e industriales y como carburante en motores de combustión interna. Presenta además ventajas ecológicas ya que al quemarse produce bajos índices de contaminación, en comparación con otros combustibles.

SITUACION DE EMERGENCIA

Gas altamente inflamable. Deberá mantenerse alejado de fuentes de ignición, chispas, flama y calor. Las conexiones eléctricas domésticas o carentes de clasificación son las fuentes de ignición más comunes.

Debe manejarse a la intemperie ó en sitios abiertos a la atmósfera para conseguir la inmediata disipación de posibles fugas. Se deberá evitar el manejo del gas natural en espacios confinados ya que desplaza al oxígeno disponible para respirar. Su olor característico, por el odorífico utilizado, puede advertirnos de la presencia de gas en el ambiente; sin embargo, el sentido del olfato se perturba, a tal grado, que es incapaz de alertarnos cuando existan concentraciones potencialmente peligrosas.

EFFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD

El gas natural no tiene color, sabor, ni olor, por lo que es necesario administrar un odorífico para advertir su presencia en caso de fuga.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Ojos: El gas natural licuado puede salpicar a los ojos provocando un severo congelamiento del tejido, irritación, dolor y lagrimeo. Aplique, con mucho cuidado, agua tibia en el ojo afectado. Solicite atención médica. Deberá manejarse con precaución el gas natural cuando esta comprimido ya que una fuga provocaría lesiones por la presión contenida en los cilindros.

Piel: Al salpicar el gas natural licuado sobre la piel provoca quemaduras por frío, similares al congelamiento. Mojar el área afectada con agua tibia o irrigar con agua corriente. No use agua caliente. Quitese los zapatos o la ropa y impregnada. Solicite atención médica.

Inhalación: No deberá exponerse a altas concentraciones de gas, en caso de lesionados, aléjelos del área contaminada para que respiren aire fresco. Si la víctima no respira, inicie de inmediato resucitación cardiopulmonar. Si presenta dificultad para respirar, adminístrese oxígeno medicinal (solo personal calificado) Solicite atención médica inmediata. El gas natural es un asfixiante simple, que al mezclarse con el aire ambiente, desplaza al oxígeno y entonces se respira un aire deficiente en oxígeno. Los efectos de exposición prolongada pueden incluir dificultad para respirar, mareos, posibles náuseas y eventual inconsciencia.

Ingestión: La ingestión de este producto no es un riesgo normal

5. PELIGROS DE EXPLOSIÓN E INCENDIO

Punto de Flash -222.0 °C
Temperatura de Auto ignición 650.0°C
Límites de Explosividad:

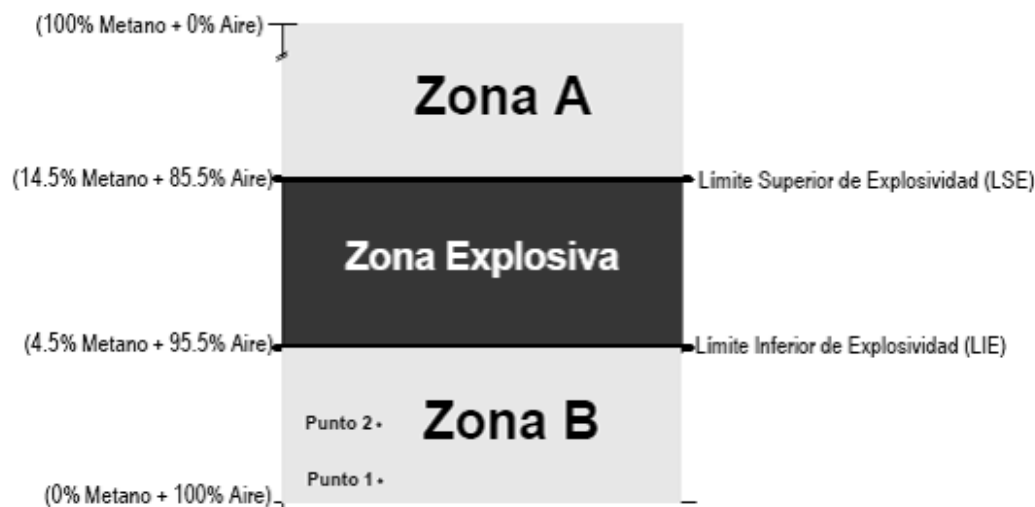
Inferior 4.5 %
Superior 14.5 %

Punto de Flash: Una sustancia con punto de flash de 38 °C o menor se considera peligrosa; entre 38 °C y 93 °C, moderadamente inflamable; mayor a 93 °C la inflamabilidad es baja (combustible). El punto de flash del gas natural (-222.0 °C) lo hace un compuesto

Mezcla de

- Aire +
- Gas Natural

Zonas A y B: En condiciones ideales de homogeneidad, las mezclas de aire con menos de 4.5% y más de 14.5% de gas natural no explotarán, aún en presencia de una fuente de ignición, sin embargo, en condiciones prácticas, deberá desconfiarse de las mezclas cuyos contenidos se acerquen a la zona explosiva. En la Zona Explosiva solo se necesita una fuente de ignición para desencadenar un incendio o explosión.



Calibración de las alarmas en los detectores de mezclas explosivas:

Punto 1 = 20% del LIE.- Alarma visual y audible de presencia de gas en el ambiente.

Punto 2 = 60% del LIE.- Se deberán ejecutar acciones de bloqueo de válvulas, disparo de motores, etc., antes de llegar a la Zona Explosiva.

Zona Explosiva. Las mezclas del gas natural con aire en concentraciones entre 4.5 % y 14.5 % son explosivas, solo hará falta una fuente de ignición para que se desencadene una violenta explosión.

Extinción de Incendios: Polvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) bióxido de carbono y aspersión de agua para las áreas afectadas por el calor o circundantes. Apague el fuego bloqueando la fuente de fuga.

Instrucciones Especiales para el Combate de Incendios:**a) Fuga de gas natural a la atmósfera, sin incendio:**

Si esto sucede a la intemperie el gas natural se disipa fácilmente en las capas superiores de la atmósfera; contrariamente, cuando queda atrapado en la parte inferior de techumbres se forman mezclas explosivas con gran potencial para explotar, y explotarán violentamente al encontrar una fuente de ignición.

Algunas recomendaciones para evitar este supuesto escenario son:

- ♦ El gas natural o metano es más ligero que el aire y por lo tanto, las fugas ascenderán rápidamente a las capas superiores de la atmósfera, disipándose en el aire. Las techumbres deberán tener preventivamente venteos para desalojar las nubes de gas, de lo contrario, lo atraparán riesgosamente en las partes altas.
- ♦ Verificar anticipadamente por medio de pruebas y Auditorías que la integridad mecánica-eléctrica de las instalaciones está en óptimas condiciones (diseño, construcción y mantenimiento):
 - Especificaciones de tubería (válvulas, conexiones, accesorios, etc.) y prácticas internacionales de ingeniería.
 - Detectores de mezclas explosivas, calor y humo con alarmas audibles y visuales.
 - Válvulas de operación remota para aislar grandes inventarios, entradas, salidas, etc., en prevención a posibles fugas, con actuadores local y remoto en un refugio confiable.
 - Redes de agua contra incendio permanentemente presionadas, con sistemas disponibles de aspersión, hidrantes y monitores, con revisiones y pruebas frecuentes.
 - Extintores portátiles.
- ♦ El personal de operación, mantenimiento, seguridad y contra incendio deberá estar capacitado, adiestrado y equipado para cuidar, manejar, reparar, y atacar incendios o emergencias, que deberá demostrarse a través de simulacros operacionales (falla eléctrica, falla de aire de instrumentos, falla de agua de enfriamiento, rotura de ducto de transporte, etc.) y contra incendio.

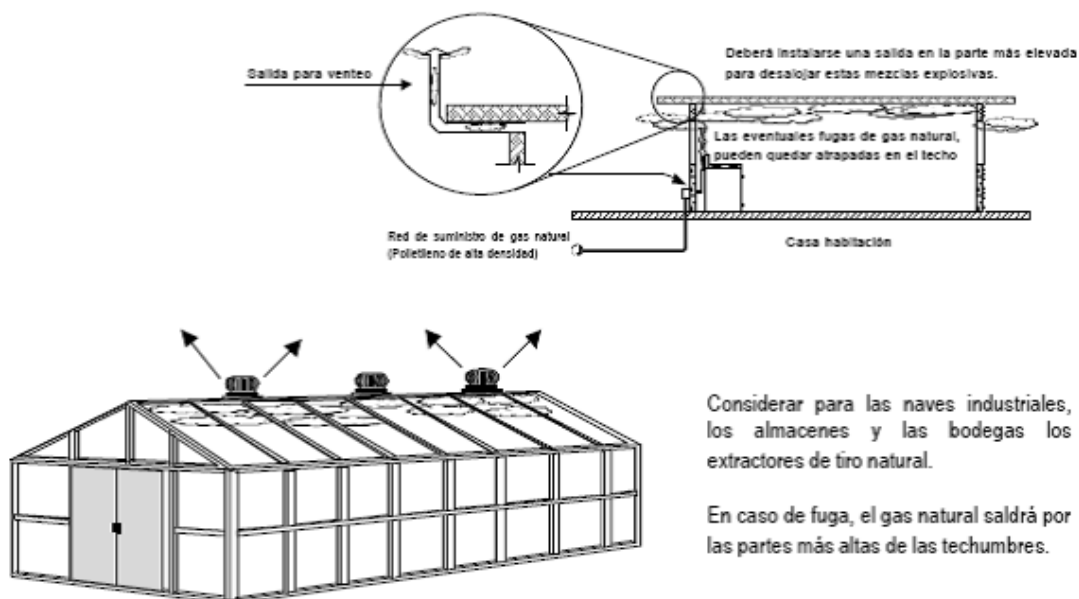
b) Incendio de una fuga de gas natural:

- ♦ Active el Plan de Emergencia según la magnitud del evento.
- ♦ Aún sin incendio, asegúrese que el personal utilice el equipo de protección para combate de incendios.
- ♦ Bloquee las válvulas que alimentan la fuga y proceda con los movimientos operacionales de ataque a la emergencia mientras enfría con agua las superficies expuestas al calor, ya que el fuego, incidiendo sobre tuberías y equipos provoca daños catastróficos.

Peligro de Incendio y Explosión: El gas natural y las mezclas de éste con el aire ascenderán rápidamente a las capas superiores de la atmósfera; en ciertas concentraciones son explosivas. En una casa, habitación, o techumbre industrial, una fuga de gas natural asciende hacia el techo, y si ésta no tiene salida por la parte más alta, se quedará atrapada como se muestra en los dibujos (abajo), parte del gas sale por las ventanas y

puertas hacia la atmósfera exterior, y otra parte se queda "atrapada" en la parte inferior del techo y en el momento en que

se produzca alguna chispa (al energizar algún extractor, ventilador o el alumbrado) se producirá una violenta explosión.



6. RESPUESTA EN CASO DE FUGA

Fuga en Espacios Abiertos: Proceda a bloquear las válvulas que alimentan la fuga. El gas natural se disipará fácilmente. Tenga presente la dirección del viento.

Fuga en Espacios Cerrados: Elimine precavidamente fuentes de ignición y prevenga venteos para expulsar las probables fugas que pudieran quedar atrapadas.

7. PRECAUCIONES PARA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Todo sistema donde se maneje gas natural debe construirse y mantenerse de acuerdo a especificaciones que aseguren la integridad mecánica y protección de daños físicos. En caso de fugas en un lugar confinado, el riesgo de incendio o explosión es muy alto.

Precauciones en el Manejo: Evite respirar altas concentraciones de gas natural. Procure la máxima ventilación para mantener las concentraciones de exposición por debajo de los límites recomendados. Nunca busque fugas con flama o cerillos. Utilice agua jabonosa o un detector electrónico de fugas.

8. CONTROLES CONTRA EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Controles de Ingeniería: Utilice sistemas de ventilación natural en áreas confinadas, donde existan posibilidades de que se acumulen mezclas inflamables. Observe las normas eléctricas aplicables para este tipo de instalaciones (NFPA-70, "Código Eléctrico Nacional").

Equipo de Protección Personal: Es obligatorio el uso del uniforme de trabajo durante toda la jornada:

- Casco; para la protección de la cabeza contra impactos, penetración, shock eléctrico y quemaduras.
- Lentes de seguridad; para protección frontal, lateral y superior de los ojos.
- Ropa de trabajo: Camisola manga larga y pantalón o coverall de algodón 100 % y guantes de cuero.
- Botas industriales de cuero con casquillo de protección y suela anti-derrapante a prueba de aceite y químicos.

Evite el contacto de la piel con metano en fase líquida ya que se provocarán quemaduras por congelamiento.

Protección Respiratoria: Utilizar líneas de aire comprimido con mascarilla, o aparatos auto contenidos para respiración (SCBA) ya que una mezcla aire + metano es deficiente en oxígeno y asfixiante para respirarlo. La mezcla puede ser explosiva, requiriéndose aquí, precauciones extremas, ya que al encuentra una fuente de ignición, explotará.

9. PROPIEDADES FÍSICAS / QUÍMICAS

Fórmula Molecular	Mezcla ($\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8$)
Peso Molecular	18.2
Temperatura de Ebullición @ 1 atmósfera	- 160.0 °C
Temperatura de Fusión	- 182.0 °C
Densidad de los Vapores (Aire = 1) @ 15.5 °C	0.61 (Más ligero que el aire)
Densidad del Líquido (Agua = 1) @ 0°/4 °C	0.554
Relación de Expansión	1 litro de líquido se convierte en 600 litros de gas
Solubilidad en Agua @ 20 °C	Ligeramente soluble (de 0.1 @ 1.0%)
Apariencia y Color	Gas incoloro, insípido y con ligero olor a huevos podridos (por la adición de mercaptanos para detectar su presencia en caso de fugas de acuerdo a Norma Pemex No 07.3.13 ⁴

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad Química: Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo.

Condiciones a Evitar: Manténgalo alejado de fuentes de ignición y calor intenso ya que tiene un gran potencial de inflamabilidad, así como de oxidantes fuertes con los cuales reacciona violentamente (pentafluoruro de bromo, trifluoruro de cloro, cloro, flúor, heptafluoruro de yodo, tetrafluoroborato de dioxigenil, oxígeno líquido, ClO_2 , NF_3 , OF_2).

Productos Peligrosos de Descomposición: Los gases o humos que produce su combustión son: bióxido de carbono y monóxido de carbono (gas tóxico).

Peligros de Polimerización: No polimeriza.

11. INFORMACION TOXICOLÓGICA

El gas natural es un asfixiante simple que no tiene propiedades peligrosas inherentes, ni presenta efectos tóxicos específicos, pero actúa como excluyente del oxígeno para los pulmones. El efecto de los gases asfixiantes simples es proporcional al grado en que disminuye el oxígeno en el aire que se respira. En altas concentraciones pueden producir asfixia.

12. INFORMACION ECOLOGICA

El gas natural es un combustible limpio, los gases producto de la combustión, tienen escasos efectos adversos en la atmósfera. Sin embargo, las fugas de metano están consideradas dentro del grupo de Gases de Efecto Invernadero, causantes del fenómeno de calentamiento global de la atmósfera (con un potencial 21 veces mayor que el CO₂). El gas natural no contiene ingredientes que destruyen la capa de ozono. Su combustión es más eficiente y limpia por lo que se considera un combustible ecológico que responde satisfactoriamente a los requerimientos del INE, SEMARNAP y la Secretaría de Energía, así como a la normatividad que entró en vigor a partir de 1998.

13. DISPOSICION DE LOS RESIDUOS

El gas natural no deja residuos.

4 *Requisitos Mínimos de Seguridad para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento e Inspección de Tuberías de Transporte*.

14. INFORMACION SOBRE SU TRANSPORTACION

Nombre Comercial	Gas Natural
Identificación *DOT	1971 y 1972 (Organización de Naciones Unidas)
Clasificación de Riesgo *DOT	Clase 2; División 2.1
Leyenda en la etiqueta	GAS INFLAMABLE

*DOT: (Departamento de Transporte de los Estados Unidos).



1971 = Número asignado por ONU al gas natural.
 1972 = Número para gas natural licuado o refrigerado
 2 = Clasificación de Riesgo de DOT

15. REGLAMENTACIONES

Leyes, Reglamentos y Normas: La cantidad de reporte del gas natural es de 500 kg, de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

16. INFORMACION ADICIONAL

Las instalaciones, equipos, tuberías y accesorios (mangueras, válvulas, conexiones, etc.) utilizados para el almacenamiento, manejo y transporte de gas natural deben diseñarse, fabricarse y construirse de acuerdo a las normas aplicables y mantenerse herméticos para evitar fugas.

El suministro de gas natural, para quemarse en las fuentes fijas, se hace a través de ductos subterráneos de transporte y distribución. Se suministra en diferentes rangos de presión (de 4 a 32 kgf/cm²) y temperatura (de 8 a 38 °C) a la industria y a las redes de distribución comercial y doméstica, donde se utiliza en:

- a) Generación de energía eléctrica (termoeléctricas).
- b) Generación de vapor.
- c) Calentadores de fuego directo.
- d) Turbo-maquinaria (turbo-compresores, turbo-bombas, turbo-sopladores).
- e) Estaciones distribuidoras de gas natural para carburación de motores (tractores agrícolas, automotores, camiones, etc.). Se utilizan dos sistemas: gas natural comprimido (temperatura ambiente y presión máxima de 210 kgf/cm²) y gas natural licuado a 6.3 kgf/cm² y temperatura de -140°C con tanques termo.
- f) Usos domésticos y comerciales.
- g) En la industria petroquímica se utiliza principalmente como materia prima para producir amoníaco, metanol, etileno, polietileno.

Se requiere que el personal que trabaja con gas natural sea entrenado apropiadamente en los procedimientos de manejo y operación, de acuerdo a las normas aplicables. La instalación y mantenimiento de los sistemas y recipientes debe realizarse por personas calificadas y entrenadas.

La información presentada en este documento se considera verdadera a la fecha de emisión. Sin embargo, no existe garantía expresa o implícita respecto a la exactitud y totalidad de conceptos que deben incluirse, o de los resultados obtenidos en el uso de este material. Asimismo, el productor no asume ninguna responsabilidad por daños o lesiones al comprador o terceras personas por el uso indebido de este material, aún cuando se cumplan las indicaciones de seguridad expresadas en este documento, el cual se preparó sobre la base de que el comprador asume los riesgos derivados del mismo.

FECHA DE ELABORACION: Julio del 2000

FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE VAPOR PARA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

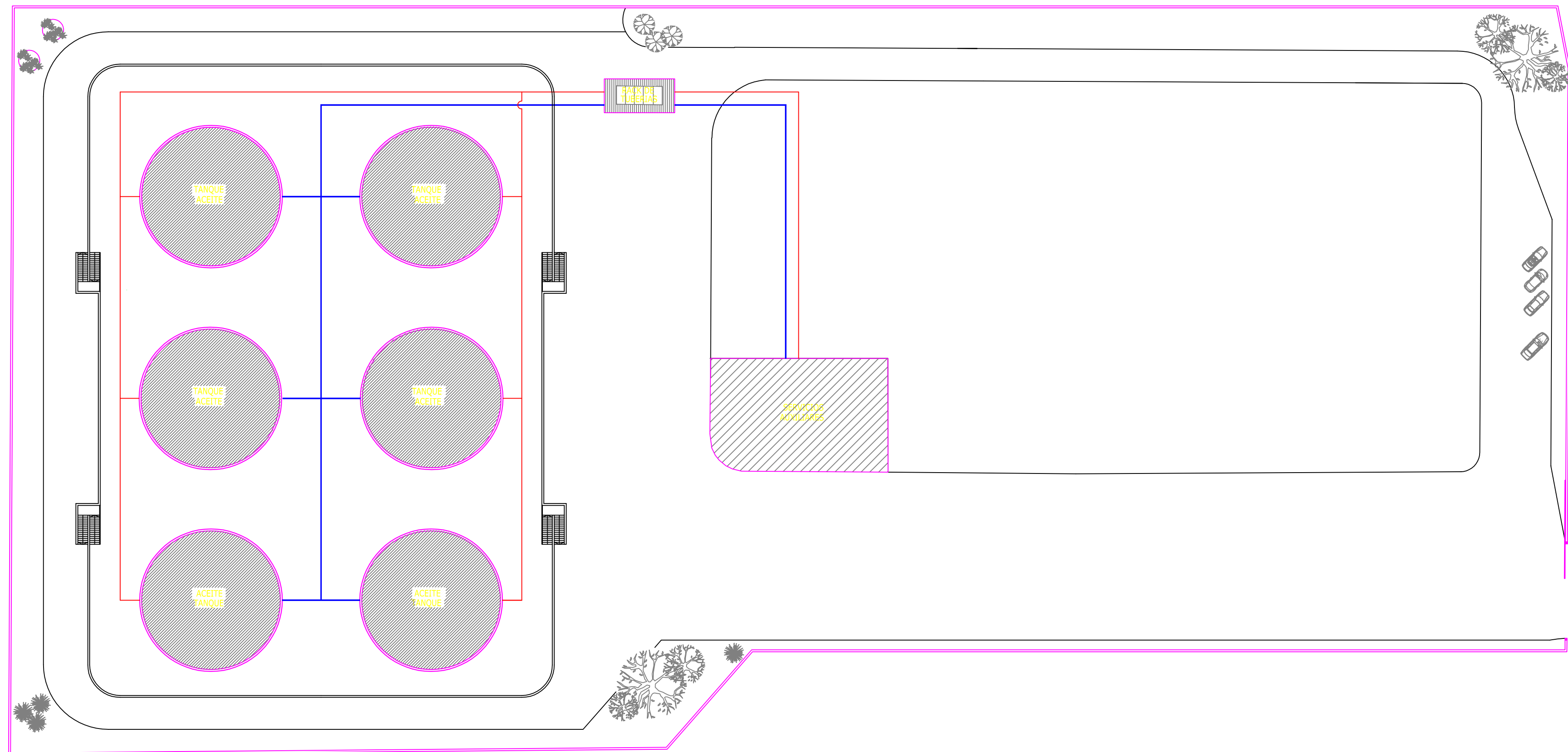
DOCUMENTO II: PLANOS

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

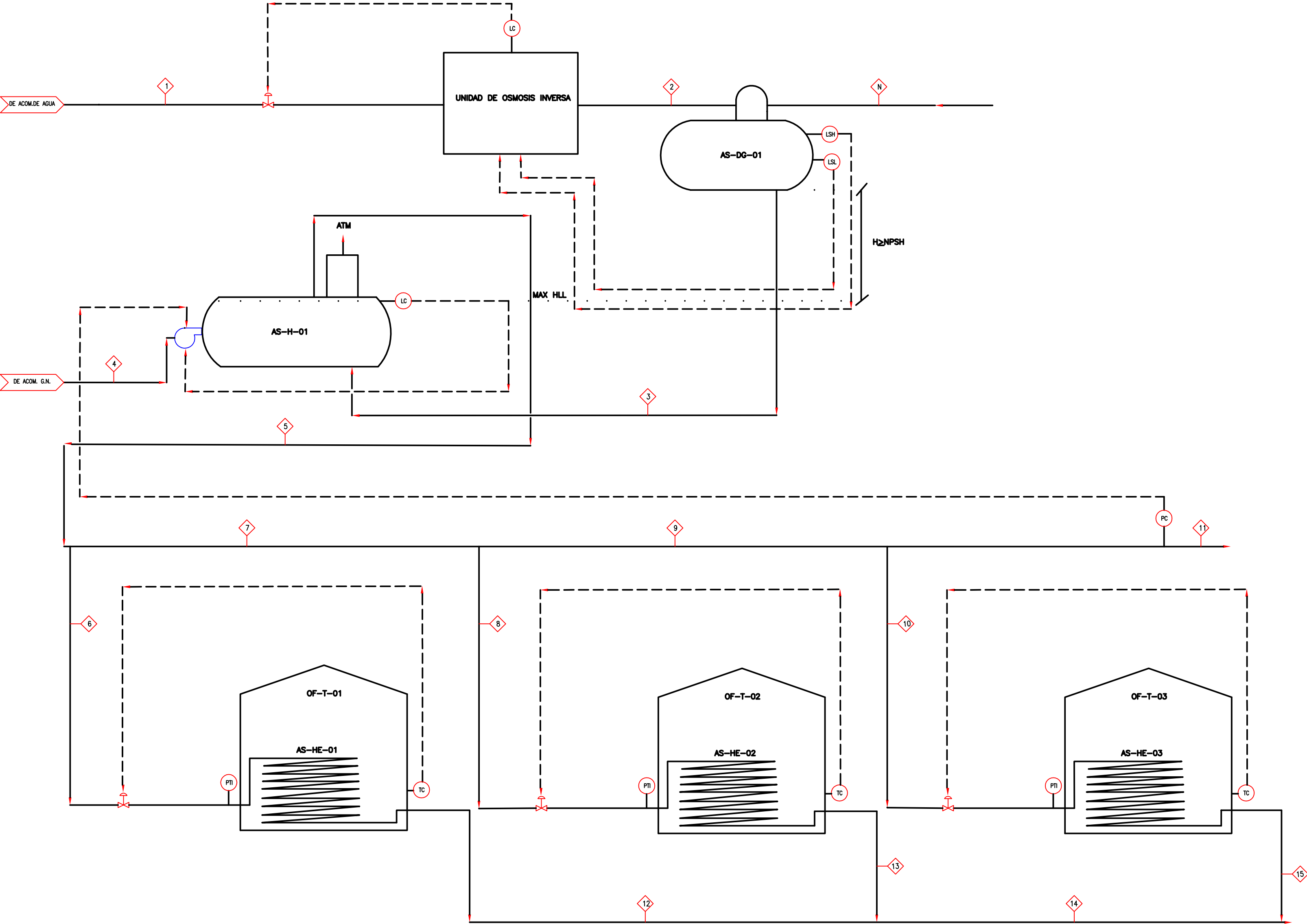
OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

PLANO N° 1.01: PLANTA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	273
PLANO N° 1.02: DIAGRAMA DE FLUJO	274
PLANO N° 1.03: DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN	275
PLANO N° 1.04: PLANO DE SIMBOLOGÍA	276
PLANO N° 1.05: CONFIGURACIÓN SERPENTÍN TANQUE ALMACENAMIENTO	277



PROYECTO FINAL DE CARRERA			
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN			
DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL.			
Plano	PLANTA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN		Plano nº
Alumno	Eva M. Correro Luque		PFC.1.01
Promotor	UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		Fecha: Octubre 2009
			Código pl. 0901001
			Escala: 1/500
			Sustituye a



Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	N
T(°C)	15	15	150	-	150	150	150	150	150	150	150	100	100	100	100	100
P(kg/cm2)	4	4	4	-	3,983	3,972	3,974	3,963	3,964	3,954	3,956	2,097	2,096	2,088	2,087	1,300
Caudal(kg/h)	2893,47	2893,47	2893,47	-	2893,47	2728,41	2893,47	2728,41	2893,47	2728,41	2893,47	2728,41	2728,41	2728,41	2728,41	2728,41

PROYECTO FINAL DE CARRERA

DISÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN

DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL.

Plano

DIAGRAMA DE FLUJO

Alumno

Eva M. Correro Luque

Promotor

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Plano nº

PFC.1.02

Fecha:

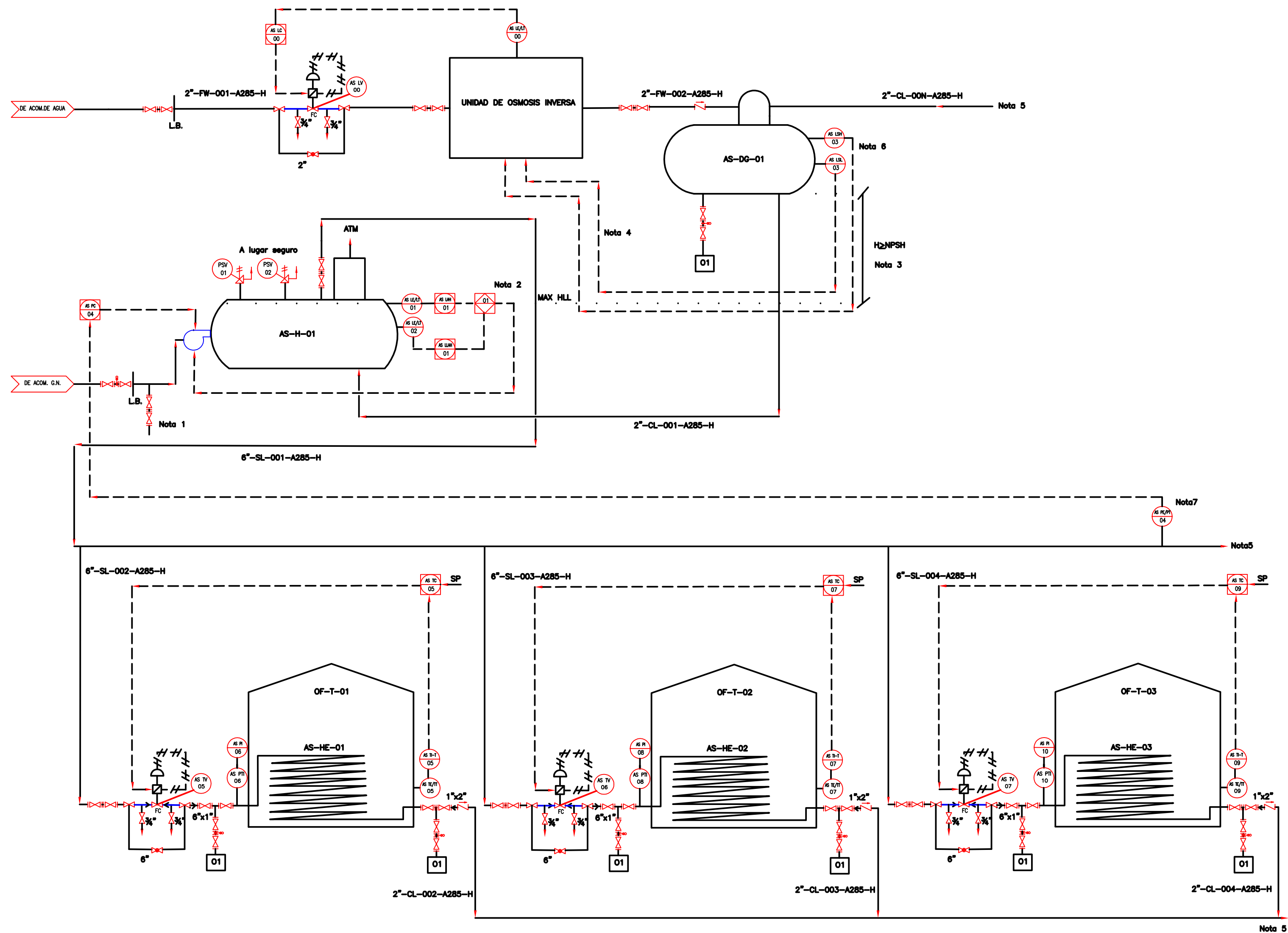
Octubre 2009 0901002

Escala:

S/E

Código pl

Sustituye a



NOTAS:

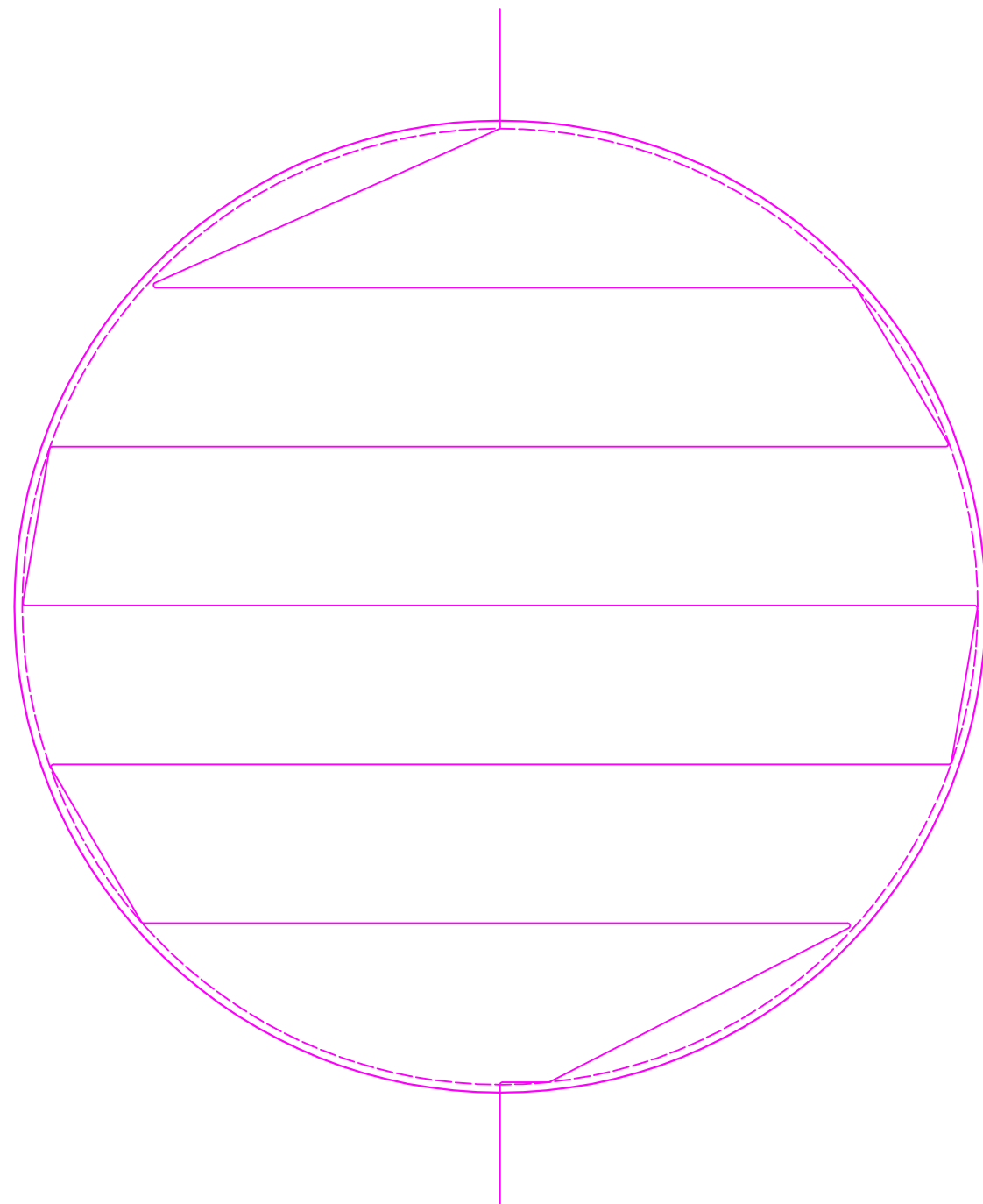
- 1- Espera en xx" para futuro suministro de Gasoil.
- 2- Enclavamiento de paro general de caldera por bajo nivel de líquido.
- 3- NPSH/Altura aportada por fabricante.
- 4- Marcha/Paro de bomba de reposición de agua de la unidad de osmosis.
- 5- El circuito se completa con los restantes 3 tanques de la terminal.
- 6- El control del nivel en el degasificador se establece mediante interruptor de nivel por alto y bajo.
- 7- Ubicado en el punto de la red más alejado posible de caldera.

AS-H-01		
Pop	4	kg/cm2
Pd	8	kg/cm2
Top	150	°C
Td	165	°C

AS-HE-01		
Pop	3,23	kg/cm2
Pd	8	kg/cm2
Top	150	°C
Td	165	°C

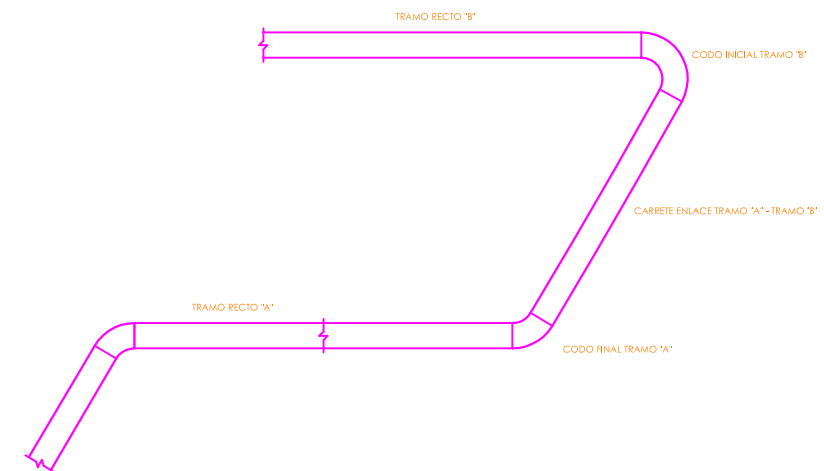
AS-DG-01		
Pop	1,2	kg/cm2
Pd	2,5	kg/cm2
Top	105	°C
Td	160	°C

PROYECTO FINAL DE CARRERA		
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL.		
Plano	DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTOS	Plano n°
Alumno	Eva M. Correro Luque	PFC.1.03
Promotor	UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	Fecha: Octubre 2009 0901003
		Escala: S/E
		Sustituye a



CONFIGURACIÓN SERPENTÍN TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

E: 1/150



DETALLE ENLACE TRAMOS SERPENTÍN.

E: 1/10

PROYECTO FINAL DE CARRERA			
DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN			
DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL.			
Plano	CONFIGURACIÓN SERPENTÍN TANQUE ALMACENAMIENTO.		Plano n°
Alumno	Eva M. Correro Luque		PFC.1.05
Promotor	UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		Fecha: Octubre 2009
			Código pl 0901005
			Escala: 1/150
			Sustituye a 1/10

FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE VAPOR PARA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

INDICE

1	DISPOSICIONES GENERALES.....	280
1.1	OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	280
1.2	OBRA ACCESORIAS NO ESPECIFICADAS.....	280
1.3	DOCUMENTO QUE DEFINEN LA OBRA	280
1.4	COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS	281
1.5	DIRECCIÓN DE LAS OBRAS	281
2	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA	282
2.1	REPLANTEO	282
2.2	CONDICIONES DE EJECUCIÓN.....	282
2.2.1	Movimiento de tierras.....	282
2.2.2	Obras de saneamiento	282
2.2.3	Cimentaciones.....	283
2.2.4	Estructuras metálicas.....	283
2.2.5	Albañilería	283
2.2.6	Instalación eléctrica	283
2.2.7	Instalaciones de fontanería	283
2.2.8	Instalaciones de climatización y ventilación	283
2.2.9	Instalaciones de Protección contra Incendios	283
2.2.10	Pinturas	283
3	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA	284
3.1	OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA.....	284
3.2	TRABAJO, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES.....	285
3.2.1	Libro de órdenes.....	285
3.2.2	Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución	285
3.2.3	Condiciones generales de ejecución de los trabajos	286
3.2.4	Trabajos defectuosos	286
3.2.5	Materiales no utilizables o defectuosos	286
3.2.6	Medios auxiliares	287
3.3	RECEPCIÓN Y LIQUIDACIÓN	287
3.3.1	Recepción provisional de las obras	287
3.3.2	Periodo de garantías.....	288
3.3.3	Recepción definitiva	289
3.3.4	Documentación final de la Obra.....	289
3.4	FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE OBRA.....	289
4	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA.....	290
4.1	BASE FUNDAMENTAL	290
4.2	GARANTÍAS.....	290
4.3	FIANZAS	290
4.4	COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS.....	290
4.5	PRECIOS CONTRADICTORIOS	291
4.6	RECLAMACIONES DE AUMENTO DE PRECIO	292

4.7	REVISIÓN DE PRECIOS	292
4.8	PENALIZACIONES.....	293
4.9	SEGUROS DE LOS TRABAJOS.....	293
4.10	CONDICIONES DE PAGO	294
5	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL	295
5.1	JURISDICCIÓN	295
5.2	CONTRATO	295
5.3	ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS	296
5.4	SUBCONTRATAS.....	296
5.5	CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO	297
6	CONDICIONES PARTICULARES DE LOS EQUIPOS	299
6.1	ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE LOS EQUIPOS.....	299
6.2	ESPECIFICACIÓN DE LA CALDERA	299
6.3	ESPECIFICACIONES DEL DEGASIFICADOR.....	300
6.4	ESPECIFICACIONES DE LA RED DE TUBERÍAS: CONDUCCIONES, ACCESORIOS, VÁLVULAS.....	300
6.4.1	Conducciones	300
6.4.2	Válvulas.....	300
6.4.3	Accesorios.....	301
6.5	ESPECIFICACIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y CONTROL.....	301
7	NORMATIVA APLICADA	302
7.1	NORMAS DE EDIFICACIÓN	302
7.2	NORMAS UNE	303
7.3	NORMAS ISO.....	303

1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1 Objetivo del Pliego de Condiciones

El presente pliego de condiciones tiene por objeto recoger las exigencias técnicas, económicas, administrativas y legales que han de regir para la ejecución del proyecto: *“Sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal”* de forma que pueda materializarse en las condiciones especificadas, evitando posibles interpretaciones diferentes de las deseadas.

Se entiende por obras accesorias, aquellas que por su naturaleza, no puedan ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos. Las obras accesorias, se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando la importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el ingeniero director de la obra.

1.2 Obras accesorias no especificadas

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de obras o instalaciones que no se encuentren descritas en este pliego de condiciones, el adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba del ingeniero director de obra.

El ingeniero director de obra tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las obras o instalaciones que resulten defectuosas total o parcialmente, deberán ser demolidas, desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que ello dé derecho a ningún tipo de reclamación por parte del adjudicatario.

1.3 Documento que definen la obra

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

El presente proyecto consta de los siguientes documentos:

- ▶ Documento n° I: Memoria y Anexos.
- ▶ Documento n° II: Planos.
- ▶ Documento n° III: Pliego de Condiciones
- ▶ Documento n° IV: Presupuesto.

Son documentos contractuales los planos, pliego de condiciones y presupuestos, que se incluyen en el presente proyecto. Los datos incluidos en la memoria y anexos tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra, deberá ponerse en conocimiento de la dirección técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

1.4 Compatibilidad y relación entre los documentos

En caso de contradicción entre los planos y el pliego de condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último. Lo mencionado en los planos y omitido en el pliego de condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

1.5 Dirección de las obras

El contratista deberá seguir las instrucciones del director de la obra en todo lo referente a calidad y acopio de materiales, ejecución de la obra, modificaciones del proyecto, programa de trabajo y precauciones a adoptar.

La propiedad nombrará en su representación a un ingeniero químico, en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente proyecto. El contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el ingeniero director o sus subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

2 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

2.1 Replanteo

La dirección de obra procederá al replanteo de las obras en presencia del contratista, marcando convenientemente sobre el terreno todos los puntos de referencia necesarios para su ejecución. De esta operación se extenderá un acta, por triplicado, o diligencia en el libro de órdenes, que deberá ser suscrita por la dirección de obra, y por la contrata, dejando constancia de la buena realización del replanteo y su concordancia con el terreno, o por el contrario, variarlo si es preciso y redactar un proyecto reformado. En el primer caso, podrán iniciarse las obras, mientras que en el segundo se dará conocimiento a la propiedad. Ésta, tomará la resolución que proceda y se la comunicará al contratista, al objeto de la prórroga del plazo y de la posibilidad de rescisión del contrato.

El contratista facilitará todos los medios precisos para la materialización de los replanteos, asumiendo la responsabilidad del mantenimiento de las señales o datos que se fijen sobre el terreno para su cálculo.

2.2 Condiciones de Ejecución

- ▶ Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento serán establecidos en las normas NBE (Normas Básicas de la Edificación) y NTE (Normas Tecnológicas de la Edificación), así como las correspondientes si procede a equipos, materiales o maquinaria. Se considerarán:

2.2.1 Movimiento de tierras

Aquí se incluyen los terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación y excavaciones de zanjas y pozos.

La excavación se ajustará a las dimensiones que figuren en los planos o a lo que indique el ingeniero.

2.2.2 Obras de saneamiento

Contempla los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra la humedad y las redes de evacuación de aguas pluviales y residuos, desde los puntos donde se cogen hasta la red de alcantarillados, pozos de filtración o equipos de depuración.

2.2.3 Cimentaciones

Se incluyen las operaciones de eliminación de troncos, raíces de árboles y otros obstáculos que se encuentren en dicha zona, según normas NBE y NTE.

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el ingeniero director señale, con independencia de lo señalado en el proyecto, que tienen carácter meramente informativo. No se rellenarán los cimientos hasta que lo ordene el director.

2.2.4 Estructuras metálicas

Se incluyen las operaciones relacionadas con el diseño, fabricación y montaje de acero para estructuras, según normas NBE, NTE y las especificadas para materiales.

2.2.5 Albañilería

Se incluyen aquí los puntos señalados por los planos, de los bloques de hormigón, ladrillo, piedra y revestimientos de suelos, escaleras y techos.

2.2.6 Instalación eléctrica

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el reglamento electrotécnico de alta y baja tensión y normas MBT complementarias.

2.2.7 Instalaciones de fontanería

Se indican las operaciones de abastecimiento y distribución de agua.

2.2.8 Instalaciones de climatización y ventilación

Incluyen las instalaciones de ventilación, calefacción y refrigeración.

2.2.9 Instalaciones de Protección contra Incendios

Se indican las instalaciones de protección contra fuegos y pararrayos.

2.2.10 Pinturas

Se indican las operaciones de acabado de pinturas y de las superficies exteriores del edificio, incluyendo la pintura protectora de las superficies metálicas.

3 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

3.1 Obligaciones y derechos del contratista

La propiedad entregará al contratista, libre de todo gasto, tres copias de todos los planos necesarios para la ejecución del trabajo.

Se considerará que el contratista ha comprobado el lugar de construcción, los planos, especificaciones y listas antes de presentar su oferta, y que ha quedado conforme con las condiciones en que habrá que ejecutarse el trabajo.

Deberá conocer las disposiciones laborales, o de otra índole vigente, que pueden ser de aplicación en la realización del trabajo; la disponibilidad de mano de obra local, la disponibilidad de materiales, las condiciones locales de transporte y alojamiento del personal. No se admitirá ninguna reclamación del mismo por no haber hecho anteriormente dicha comprobación. El contratista proporcionará un número suficiente de operarios competentes y el personal supervisor y administrativo necesario a fin de cumplir con el programa de construcción.

Durante todo el periodo de ejecución del trabajo, el contratista destacará en la obra un jefe de obra competente y tantos ayudantes como sean necesarios para controlar o supervisar a todo su personal y administrar adecuadamente el contrato.

El jefe de obra será plenamente responsable de la dirección y organización del trabajo, como también del manejo y control del personal del contratista empleado para la ejecución de la obra, debiendo conocer detalladamente las condiciones y términos del contrato. El contratista no podrá cambiar su jefe de obra si no es bajo previa autorización por escrito de la propiedad.

El contratista debe cumplir todas las reglamentaciones y órdenes, aplicables a las prácticas de salarios y empleos y en proceder de acuerdo con la política de la propiedad en los asuntos que afecten a las prácticas locales.

El contratista, mantendrá en condiciones adecuadas las facilidades temporales relativas a los servicios higiénicos y de resguardo de sus empleados y proporcionará de forma continuada, en el sitio de la obra durante la construcción, servicios apropiados de reconocimiento y primeros auxilios. También se tomarán las precauciones necesarias para una rápida asistencia médica en el lugar más cercano que proporcione dichos servicios.

El incumplimiento por parte de un empleado de la empresa contratista de las reglas y prácticas requeridas por la propiedad será justificada suficientemente para su despido.

Los empleados del contratista deben estar sujetos a identificación y provistos de los documentos aceptados por la propiedad para este efecto. El contratista mantendrá en el sitio de la obra un expediente individual de cada persona que regularmente se emplee en la construcción de la obra. Todos los empleados que visiten la planta deben seguir las instrucciones relativas a seguridad e identificación, tal como si estuvieran regularmente empleados en el sitio de la obra. Cualquiera de los oficiales de seguridad puede, en cualquier momento, solicitar la identificación apropiada y/o el de empleo de cualquier persona.

La propiedad notificará al contratista la reglamentación que afecte a visitas, accesos, entrada de automóviles en el recinto de la obra, pases especiales y zonas prohibidas de la línea de proceso.

3.2 Trabajo, materiales y medios auxiliares

3.2.1 Libro de órdenes

Con objeto de que en todo momento se pueda tener un conocimiento exacto de la ejecución e incidencias de la obra, existirá en ella, en todo momento mientras dure su ejecución, el libro de órdenes, en el que se reflejarán las visitas realizadas por la dirección de la obra, las incidencias surgidas y en general todos aquellos datos que sirvan para determinar con certeza si el contratista ha cumplido los plazos y fases de ejecución previstas para la realización del proyecto. Las anotaciones en el libro de órdenes darán fe a efectos de determinar eventuales causas de resolución y demás incidencias del contrato. Cuando el contratista no estuviese conforme, podrá alegar en su defensa todas aquellas razones y circunstancias que avalen su postura, aportando las pruebas que estime pertinentes.

3.2.2 Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución

Obligatoriamente y por escrito, deberá el contratista dar cuenta al ingeniero director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir 24 horas de su iniciación: previamente se habrá suscrito el acta de replanteo.

El Adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al ingeniero director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo este dar acuse de recibo.

Las obras quedarán terminadas dentro del plazo establecido en el contrato. El contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la reglamentación oficial del trabajo.

3.2.3 Condiciones generales de ejecución de los trabajos

El contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones Generales de Índole Técnica" y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento. Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el ingeniero director o sus subalternos no la hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

3.2.4 Trabajos defectuosos

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el ingeniero director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

3.2.5 Materiales no utilizables o defectuosos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por el ingeniero director, en los términos que prescriben los pliegos de condiciones.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el ingeniero director dará orden al contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los pliegos o, a falta de éstos, a las órdenes del ingeniero director.

3.2.6 Medios auxiliares

Serán de cuenta y riesgo del contratista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo por tanto, al propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

Serán asimismo de cuenta del contratista, los medios auxiliares de protección y señalización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuadas, señales luminosas nocturnas, etc. Y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

3.3 Recepción y liquidación

3.3.1 Recepción provisional de las obras

Terminado el periodo de la prueba de funcionamiento con resultado satisfactorio se procederá a la recepción provisional de la forma que dispone de la legislación vigente. Para ello deberán haberse cumplido las condiciones siguientes:

- ▶ Resultado satisfactorio de las pruebas realizadas.
- ▶ Cumplimiento de todas las obligaciones en el contrato o en acuerdos posteriores.

En el acto de recepción estarán presentes: la persona en quien delegue la entidad promotora de las obras, la dirección de obra de las mismas y el contratista, levantándose acta del mismo.

El acta de recepción contendrá necesariamente los siguientes documentos:

- ▶ Relación de problemas de funcionamiento pendientes de resolver si diera el caso.
- ▶ Relación de los puntos que deben ser estudiados o vigilados especialmente durante el periodo de garantía.
- ▶ Protocolo de las pruebas de rendimiento y funcionamiento a realizar durante el periodo de garantía.

En el caso de que las obras no se hallaran en estado de ser recibidas, se hará constar así en el acta, con medición de las circunstancias o defectos que lo impidan, dándose las instrucciones precisas y detalladas por la dirección de obra al contratista a efectos de subsanar los defectos observados, fijándose plazo para efectuarlo, a cuyo vencimiento se realizará una nueva inspección para la recepción provisional de las

obras. Si el contratista no subsanase los defectos encontrados se producirá la rescisión del contrato, con pérdida de las retenciones practicadas a no ser que la propiedad juzgue oportuno conceder un nuevo e improrrogable plazo.

El plazo de garantía comenzará a contarse a partir de la fecha de la recepción provisional positiva de la obra.

En la recepción provisional, el contratista deberá presentar las autorizaciones de los organismos oficiales para el uso y puesta en servicio de las instalaciones que así lo requieran, no se realizará la recepción provisional ni, como es lógico la definitiva, si no se cumple este requisito.

3.3.2 Periodo de garantías

El contratista garantiza en general todas las obras que ejecute, así como los materiales empleados en ellas y su correcta manipulación.

El plazo de garantía será de doce meses, a no ser que se especifique otro periodo en el proyecto de detalle, durante el cual el contratista corregirá los defectos observados, eliminará y volverá a ejecutar las obras rechazadas y reparará los desperfectos que se produzcan, todo ello a su cargo y sin derecho de indemnización alguna.

En caso de que el contratista no cumpliera con esta obligación, las reparaciones serán ejecutadas por la propiedad con cargo a las retenciones.

Junto con la recepción final de los equipos se entregará una lista de repuestos, precio y lugares de adquisición recomendados de los mismos.

El contratista podrá contratar con la propiedad un contrato de mantenimiento preventivo o de asistencia en caso de avería, que cubra el periodo de garantía y el tiempo posterior a éste.

Para poder decidir sobre las cuentas pendientes de resolver o que surjan durante el periodo de garantía o en la ejecución de pruebas, incluyendo naturalmente las reparaciones, modificaciones o sustituciones que se presenten, el contratista queda obligado a mantener un representante con capacidad y obligación de firmar las actas que se vayan levantando.

El contratista garantiza a la propiedad contra toda reclamación de terceras personas que tuvieran su origen en el incumplimiento de sus obligaciones económicas o de las disposiciones legales relacionadas con la obra. Una vez aprobada la recepción y

liquidación definitiva, la Propiedad devolverá, en su caso, las cantidades retenidas al contratista en las certificaciones.

3.3.3 Recepción definitiva

Dentro del mes siguiente al cumplimiento del plazo de garantía, se procederá a la recepción definitiva de las obras.

Si las obras se encontrasen en las condiciones debidas, se procederá a su recepción definitiva, de la que se levantará acta, en virtud de lo cual el contratista quedará relevado de toda responsabilidad.

El acta de recepción definitiva de las obras se efectuará después de terminado el periodo de garantía en la forma que dispone la legislación vigente. En dicho acta deberán quedar resueltas todas las cuestiones que en el acta de recepción provisional quedaron pendientes del funcionamiento durante el periodo de garantía

3.3.4 Documentación final de la Obra

El contratista entregará a la dirección de obra, antes de la recepción definitiva, tres ejemplares del documento elaborado como final de obra. Dicho documento deberá recoger todas las incidencias acaecidas en la obra desde su inicio hasta su finalización, así como aquellas modificaciones que durante el transcurso de la misma hayan tenido lugar. Del mismo modo, quedarán perfectamente reflejadas, mediante la documentación gráfica correspondiente, la ubicación final de todas las instalaciones para que, de este modo se facilite cualquier trabajo de reparación o modificación que resulte necesario llevar a cabo con posterioridad.

3.4 Facultades de la dirección de obra

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al ingeniero director, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya, la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por si o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el "Pliego General de Condiciones" sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, recusar al contratista, si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

4 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

4.1 Base fundamental

Como base fundamental de estas "Condiciones Generales de Índole Económica", se establece el principio de que el contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

4.2 Garantías

El director de obra podrá exigir al contratista, la presentación de referencias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si este reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato. Dichas referencias si le son pedidas, las presentara el contratista antes de la firma del contrato.

4.3 Fianzas

El contratista prestará fianza que se corresponderá con un depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe del 5% del precio total de contrata.

La fianza retenida será devuelta al contratista en un plazo que no excederá de treinta días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre y cuando no existan penalizaciones de algún tipo por incumplimiento de algún apartado del contrato, en cuyo caso se descontará de la fianza el valor de los mismos devolviendo el resto al contratista en ese mismo plazo. La propiedad podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos, etc.

4.4 Composición de precios unitarios

Todos los precios unitarios se entienden valorados para cada partida totalmente terminada y, en el caso de equipos y maquinaria funcionando, están comprendidos en ella la parte proporcional de costes de puesta a punto, permisos, boletines, licencias, tasas, suministros para pruebas, etc.

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar las siguientes partidas:

- ▶ Materiales, expresando las cantidades que en cada unidad de obra se precisen de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo de origen.
- ▶ Mano de obra por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas invertidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- ▶ Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de la obra, expresando el precio del transporte de unidades.
- ▶ Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad sobre la suma de conceptos anteriores en las unidades de obra que se precisen.
- ▶ Tanto por ciento de seguros sociales y cargas vigentes sobre el costo de la mano de obra, especificando en documento aparte, la cuantía de cada concepto del seguro o carga.
- ▶ Tanto por ciento de gastos generales, sobre la suma de conceptos anteriores.
- ▶ Tanto por ciento de beneficio industrial del contratista, aplicando a la suma total de los conceptos anteriores.

Se denominará Precio de Ejecución Material (P.E.M.) al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos, a excepción del beneficio industrial.

La suma de todas las cantidades que importan las siete partidas se entiende que es el precio unitario contratado (Precio de Ejecución por Contrata).

Todas las partidas que intervienen en el presupuesto tendrán su precio unitario descompuesto descrito de forma completa, de manera que queden precisadas y determinada cualitativa y cuantitativamente todas las características técnicas importantes de cada unidad a ejecutar (también sus prestaciones en el caso de equipos), y su precio final estará escrito en letras, expresado en euros con dos decimales.

4.5 Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso excepcional e imprevisto en el que fuese necesaria la determinación de precios contradictorios entre la propiedad y el contratista, estos precios deberán aprobarse por la propiedad a la vista de la propuesta de la dirección de obra y de las observaciones del contratista.

Si éste no aceptase los precios aprobados quedará exonerado de ejecutar las nuevas unidades.

Las unidades de obra con precios contradictorios, se introducirán al final de las partidas existentes en cada capítulo, definiéndose expresamente con dichas siglas y que van aprobadas por la administración, se entenderán incorporados a todos los efectos, a los cuadros de precios de proyecto base del contrato.

4.6 Reclamaciones de aumento de precio

Si el contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión reclamar un aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la memoria, por no servir este documento de base a la contrata.

Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato, señalados en los documentos relativos a las "Condiciones Generales o Particulares de Índole Facultativa", sino en el caso de que el ingeniero director o el contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

4.7 Revisión de Precios

Para poder en un momento dado discernir con la mayor aproximación acerca de las posibles revisiones de precios que puedan presentarse durante la obras como consecuencia de un aumento oficial autorizado, o en el caso de una posible rescisión del contrato, los contratistas de los distintos gremios presentarán juntamente con su presupuesto de unidades de obra otra hoja firmada con los siguientes datos:

- ▶ Porcentaje de mano de obra, de materias, de gastos generales y de beneficio industrial que suponen estos conceptos con relación al importe total del presupuesto de contrata de cada gremio.
- ▶ Los precios de las distintas unidades y su descomposición con el fin de aclarar más aún cualquier duda que pudiera surgir en el caso de una liquidación parcial de obra o de revisión de precios.
- ▶ Plazo de ejecución de obra contratada.

Las propuestas de los distintos gremios se presentarán en sobre cerrado por duplicado a la dirección de obra.

Para realizar la revisión de precios se usarán los últimos índices oficiales de revisión de precios que hayan sido aprobados por la Comisión Delegada de Asuntos Económicos y que hayan sido publicados en el BOE.

Las fórmulas polinómicas con estructuras de costos en la actualidad autorizadas y por consiguiente utilizadas en las revisiones de contratos, son las derivadas del Decreto Ley 2/1964 de 4 de Febrero, por el que se modifica el 16/1963, de 10 de Octubre, sobre inclusión de cláusulas de revisión en los contratos de grados y Organismos Autónomos (BOE 6/2/64).

Las fórmulas actualmente aplicables: de la 1 a la 39 del Decreto 3650/1970 de 19 de Diciembre (B.O.E 29/12/ 70) y de la 40 a la 48 del Real Decreto 2167/1981 de 20 de agosto (B.O.E de 24/9/81).

Estas 48 fórmulas tipos, sirven para la revisión de 76 clases de obras, usando las que sean necesarias para cada trabajo.

4.8 Penalizaciones

Si finalizado el plazo de ejecución de las obras, éstas no hubieren terminado sin motivo justificado por parte de la contrata, se aplicarán los siguientes recargos a imputar al contratista desde fecha de finalización de las obras:

- ▶ Por día natural de retraso un 0.1% de la fianza, hasta el día 30.
- ▶ A partir del día 31 hasta el día 60 la penalización por día natural de retraso será de un 0.5% del valor al que ascienda la fianza.

Pasados estos plazos se rescindirá el contrato quedando obligado el contratista a responder por daños y perjuicios a esta entidad. De igual manera se actuará en caso de que se dé incumplimiento del contrato por parte del contratista.

4.9 Seguros de los trabajos

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en todo momento, con el valor que tengan, por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la sociedad aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a cuenta, a nombre del propietario para que con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que esta se vaya realizando.

El reintegro de la cantidad al contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa de Contratista, hecha en documento público, el propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada.

La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero eso en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero director.

En las obras de reforma o reparación se fijará, previamente, la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía, y si nada se previese, se entenderá que el seguro ha de comprender toda parte de edificio afectado por la obra. Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá El contratista antes de contratarlos en conocimiento del propietario, al objeto de recabar de este su previa conformidad o reparos.

4.10 Condiciones de pago

Los pagos se harán mensualmente por el 100 % del importe de la certificación aprobada respecto a unidades de obra completadas correspondiente al mes anterior.

Las cantidades retenidas serán reintegradas por la propiedad al contratista una vez cumplido el plazo de garantía, siempre que no se haya observado ningún defecto en la ejecución de los trabajos realizados, mala calidad de los materiales utilizados y se haya firmado el acta de recepción definitiva.

Las certificaciones se presentarán mensualmente a la representación de la propiedad por triplicado y en forma aceptable por la misma. En cada certificación constará por separado el importe de los trabajos realizados. Las certificaciones reflejan el total acumulado del trabajo realizado hasta finales del mes anterior y se presentarán a la representación de la propiedad en los primeros diez días de cada mes para la comprobación de las mismas.

Al finalizar el trabajo el contratista presentará una última certificación con carácter definitivo en la que haga constar que renuncia a toda reclamación por omisión de cantidades de trabajo no certificadas con anterioridad y que todos los precios aplicados a las unidades de trabajo realizadas son conformes.

5 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

5.1 Jurisdicción

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por el ingeniero director de la obra y en último término, a los tribunales de justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario.

El contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el proyecto.

El contratista se obliga a lo establecido en la Ley de Contratos de Trabajo y además a lo dispuesto por la de accidentes de trabajo, subsidio familiar y seguros sociales. Serán de cargo y cuenta del contratista el vallado y la vigilancia del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realizan durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del ingeniero director.

El contratista es responsable de toda falta relativa a la política urbana y a las ordenanzas municipales estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación esté emplazada.

5.2 Contrato

El contrato se firmará dentro de los diez días de notificada la adjudicación.

A partir de la firma del contrato, la propiedad podrá extender la orden de inicio de obra correspondiente.

Firmado el contrato, el contratista no podrá transferirlo ni cederlo, en todo o en parte, a otra persona o entidad, ni asociarse para su cumplimiento sin autorización previa y por escrito de la propiedad.

En el caso de que el contratista no disponga del equipamiento propio necesario para realizar los servicios objeto del contrato, deberá presentar indefectiblemente, previo a la firma del contrato, documentaciones que acrediten el contrato de alquiler del mismo

5.3 Accidentes de trabajo y daños a terceros

En caso de accidentes ocurridos con motivo en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el contratista se atendrá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, por no cumplir el contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar dichas disposiciones legales.

El contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas.

Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando a ello fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

5.4 Subcontratas

El contratista no subcontratará ni se asociará a terceros para la ejecución del trabajo sin aprobación previa por escrito de la propiedad. Esta aprobación no eximirá al contratista de sus responsabilidades ni de sus obligaciones derivadas del contrato.

La dirección técnica de obra podrá rechazar a aquellos subcontratistas de los que existen antecedentes de mala ejecución, incumplimiento de las especificaciones de proyecto, retraso en la ejecución de los trabajos o por cualquier otra causa debidamente justificada.

Los subcontratados, asociados, agentes, etc., contratados por el contratista para el trabajo serán considerados a todos los efectos como empleados del contratista.

El contratista deberá asegurarse de que todos sus subcontratados, asociados, agentes, etc., empleados en el trabajo, cumplen con los términos del contrato como si fueran sus empleados, siendo único responsable de cualquier fallo o negligencia causada por aquellos.

5.5 Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

- ▶ Muerte o incapacidad del contratista.
- ▶ Quiebra o incapacidad económica del contratista.
- ▶ Modificación del proyecto de tal forma que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la dirección técnica, y en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de contrata, como consecuencia de estas modificaciones, represente alrededor del 25% como mínimo del importe actual.
- ▶ Modificación de las unidades de obra en número superior al 50% del total.
- ▶ Cuando se cumpla el plazo final de las obras y falte por ejecutar más del 20% del presupuesto de obra. La imposición de las multas establecidas por los retrasos no obligará a la propiedad a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir ante la resolución o la continuidad del contrato.
- ▶ Cuando no se hubiera realizado el montaje de las instalaciones y unidades auxiliares o no se hubiera aportado la maquinaria relacionada en la oferta o su equivalente en potencia o capacidad en los plazos previstos con un margen del 25%; o en el caso de que el Contratista sustituya maquinaria sin autorización.
- ▶ Cuando transcurrido un tiempo de tres meses consecutivos y considerados conjuntamente, no se alcanzase un 50% del programa aprobado para la obra.
- ▶ La suspensión de la obra una vez comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un mes, y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra dentro del plazo de 60 días, contados a partir de la adjudicación, en cuyo caso la devolución de la fianza será automática.
- ▶ En caso de rescisión del contrato con el contratista por causas de fuerza mayor se abonará al mismo tiempo el importe de la obra ejecutada y valoración de los materiales que haya hecho acopio de la misma.
- ▶ La inobservancia del plan cronológico de la obra y en especial del plazo de ejecución y terminación total de la misma.

En caso de cancelación, la propiedad tendrá derecho a estar inmediatamente en posesión de los pedidos en curso y de la parte o partes de la obra que la propiedad seleccione, junto con los materiales y herramientas, bien sean de la parte contratante o del contratista, y completar el trabajo. El contratista será razonablemente pagado por el

alquiler que haya sido convenido con la propiedad por el uso de las herramientas del contratista, o si este lo prefiere, puede retirar dichas herramientas siempre y cuando:

- ▶ El retiro de tales herramientas no afecte a la terminación de las obras.
- ▶ La propiedad esté de acuerdo con dicho retiro.
- ▶ El coste del retiro vaya a cuentas del contratista.

Las herramientas del contratista, empleadas por la empresa contratante para la terminación de la obra, serán desmanteladas, cargadas y si es el caso, preparadas para el embarque por la propiedad. Todos los costes derivados después de que las herramientas sean cargadas al transporte o abandonen los dominios de la propiedad, serán por cuenta del contratista, independientemente de que sean manejadas, movidas o embarcadas por el contratista o por la propiedad.

Todos los materiales o equipos que estén bajo pedido en el momento de la cancelación serán manejados hasta su entrega y facturación indistintamente por la propiedad o por la empresa contratada, según se decida en el tiempo de cancelación del contrato.

El contratista será reembolsado por todas las facturas que deba o hayan sido pagadas después de la cancelación, de acuerdo con las condiciones aplicables a lo gastado más el porcentaje. Cuando la propiedad así lo solicite, el contratista le transferirá todos los pedidos abiertos o pedidos cuyos materiales no hayan sido entregados. En tal caso, el vendedor será informado de la transferencia por el contratista y cambiará de manera correspondiente su procedimiento de facturación.

En el caso de que dichas facturas sean remitidas al contratista, para su pago, entre las dos partes habrá de llegarse a un acuerdo mutuo con respecto al método más satisfactorio de manejo.

6 CONDICIONES PARICULARES DE LOS EQUIPOS

6.1 Especificaciones particulares de los equipos

El objeto del presente apartado, es concretar las especificaciones técnicas que deben satisfacer los distintos equipos, diseñados o de adquisición directa por compra, para que sean aceptados en la instalación que se proyecta.

Los equipos deben entregarse con las pruebas hidráulicas que correspondan, realizadas de forma satisfactoria.

La instalación solo será recepcionada cuando se demuestre que todos los equipos de la línea de proceso y dispositivos de control funcionan perfectamente.

Las especificaciones de los equipos diseñados se clasifican en los siguientes grupos:

- ▶ Especificaciones de la caldera.
- ▶ Especificaciones del desgasificador.
- ▶ Especificaciones de la red de tuberías: conducciones, accesorios, válvulas.
- ▶ Especificaciones de la instrumentación de medición y control.

6.2 Especificación de la caldera

Descripción	Caldera pirotubular a gasóleo/gas
Fabricante	Viessmann
Modelo	Vitomax 100-LW (M155)
Unidad	2
Potencia térmica útil	2000 kW
Presión de diseño	8 kg/cm ²
Longitud	3265 mm
Anchura	1950 mm
Altura	2150 mm
Peso (con aislamiento)	4400 kg
Volumen de agua	3280 l
Cámara de combustión	
Diámetro	1030 mm
Longitud	2270 mm
Contenido de gas	3,06 m ³

TABLA 6.1: DATOS TÉCNICOS DE LA CALDERA

6.3 Especificaciones del desgasificador

Descripción	Desgasificador térmico
Fabricante	Viessmann
Unidad	1
Presión de diseño	2,5 kg/cm ²
Cabeza desgasificadora	
Material	AISI 316
Depósito de almacenamiento de agua desgasificada	
Material	A-516 Gr.70
Volumen	1 m ³

TABLA 6.2: DATOS TÉCNICOS DEL DESGASIFICADOR

6.4 Especificaciones de la red de tuberías

6.4.1 Conducciones

Línea	Diámetro nominal (in)	Diámetro interior (in)	Diámetro exterior (in)	Schedule	Longitud (m)	Material
Vapor	6	6,407	6,625	5S	350	SA-285 Gr.A
Condensado	2	2,157	2,375	10S	250	SA-285 Gr.A
Alimentación	2	2,157	2,375	10S	3	SA-285 Gr.A

TABLA 6.3: DATOS DE DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES DE LA RED DE TUBERÍA

6.4.2 Válvulas

Accesorios	Descripción	Unidades
Válvula de control	Cuerpo de acero al carbono ASTM A126 B, DN 6 in	6
Válvulas de globo	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216, DN 6 in	6
Válvulas de compuerta	Cuerpo de acero al carbono ASTM A 216 WCB , DN 6 in	36
Válvulas de compuerta	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB , DN 2 in	12
Válvula Check	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216, DN 2 in	7

TABLA 6.4: VÁLVULAS DE LA RED DE TUBERÍAS

6.4.3 Accesorios

Accesorios	Descripción	Unidades
Purgadores	De boya cerrada en acero al carbono para descarga de condensado, conexiones con bridas	12
Codos largo de 90°	Acero al carbono SA-285, DN 6 in	10
Codos largo de 90°	Acero al carbono SA-285, DN 2 in	9
Conexiones en TE	Acero al carbono SA-285, DN 2 in	2
Conexiones en TE	Acero al carbono SA-285, DN 6 in	42
Reducciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 6x3 in	6
Reducciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 3x1½ in	6
Ampliaciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 1½x2 in	6

TABLA 6.5: ACCESORIOS DE LA RED DE TUBERÍAS

6.5 Especificaciones de la instrumentación de medición y control

Instrumento	Fabricante	Unidades
Manómetro de Presión	KOBOLD, modelo NG160/RG76B055	6
Transmisor de presión	SIEMENS AG., modelo SITRANS P serie MK II	1
Térmometro	KOBOLD, modelo TBI-SRD061001R	6
Transmisor de Temperatura	ENDRESS HAUSER, modelo TMT182/122	6
Controlador de temperatura	TC DIRECT, código 305-155	6
Controlador de presión	CV CONTROL, serie YS 100	1

TABLA 6.4: ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y CONTROL

7 NORMATIVA APLICADA

El Pliego de Condiciones prevalecerá sobre el contenido de las siguientes disposiciones. Las disposiciones de carácter particular de ámbito técnico son:

- ▶ **Real Decreto 919/2006**, 28 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias IDG 01 A 11.
- ▶ **Orden FOM/891/2004**, de 1 de Marzo, por la que se actualizan determinados artículos de Pliego de Prescripciones Técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a firmes y pavimentos.
- ▶ **Real Decreto 1797/2003**, de 26 de Diciembre, por el que se aprueba la instrucción para la recepción de cementos (RC-03).
- ▶ **Orden FOM/475/2002**, de 13 de Febrero por la que se actualizan determinados artículos del Pliego de Preinscripciones Técnicas Generales para obra de carreteras y puentes relativos a hormigones y aceros.
- ▶ **Real Decreto 2267/2004**, de 3 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- ▶ **Real Decreto 315/2006**, de 17 de Marzo (Ref. 2006/5516), sobre la creación del Consejo sobre la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de Edificación.
- ▶ **Real Decreto 1316/1989**, de 27 de octubre sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.
- ▶ **Ley 6/ 2001**, 8 de Mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de Junio, de Evaluación del Impacto Ambiental.
- ▶ **Real Decreto 1299/2006**, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. BOE núm. 302 de 19 de diciembre.

7.1 Normas de edificación

- ▶ Normas básicas de edificación (NBE).
- ▶ Normas tecnológicas de Edificación (NTE).
 - Relativas a cimentaciones.
 - Relativas a estructuras de acero (EA).
 - Relativas a instalaciones de electricidad de puesta a tierra (JET).
 - Relativas a instalaciones de electricidad de red exterior (IR).
 - Relativas a instalaciones de electricidad de transformadores (IET).
 - Relativas a instalaciones de fontanería de abastecimiento (IFA).
 - Relativas a instalaciones de salubridad de alcantarillado (ISA).
 - Relativas a instalaciones de salubridad de humos y gases (ISH).

- Relativas a instalaciones de salubridad de depuración y vertidos (ISD).

- ▶ Reglamento del agua.
- ▶ Instrucciones EH-91 y EP-80 para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- ▶ Instrucciones para la fabricación y suministro de hormigón preparado (EHPRE-72). (OM del 10 de Mayo de 1973).
- ▶ Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión, aprobado por el Decreto 1244/1979 de 4 de abril.
- ▶ Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC-93).
- ▶ Normas I.N.T.A. (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “Esteban Terradas”) de la comisión 17 sobre pinturas, barnices, etc.
- ▶ Reglamento de la Línea Eléctrica de Alta tensión. Decreto 3151/68, de 28 de noviembre.
- ▶ Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e instrucciones reglamentarias. Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto (BOE núm. 224 del miércoles 18 de Septiembre).
- ▶ Impermeabilización de cubiertas: (NBE MV-301-1970).

7.2 Normas UNE

Normas UNE (Normativa de la Asociación española de Normalización) que pueden afectar a los materiales, equipos y unidades de obra incluidos en el Proyecto.

7.3 Normas ISO

Normas ISO (Organización Internacional de Normalización) que pueden afectar a los materiales, equipos y unidades de obra incluidos en el Proyecto.

FACULTAD DE CIENCIAS

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE VAPOR PARA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL**

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO

D^a. EVA M^a CORRERO LUQUE

OCTUBRE, 2009

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	305
2	ESTADO DE MEDICIONES	306
2.1	PRESUPUESTO PARCIAL	310
3	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (P.E.M.)	314
4	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (P.E.C).....	315

1 INTRODUCCIÓN

Una vez que se conocen y se han diseñado los distintos equipos y elementos que forman el proyecto, se puede evaluar en cuanto ascenderá el coste del mismo.

Este documento tiene como objetivo la estimación del presupuesto general de ejecución del proyecto “*Diseño Básico de un sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal*”.

En primer lugar se calculará el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.) referente al precio de los equipos. A continuación, se incluirá el Beneficio Industrial y los Gastos Generales obteniéndose el Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.). Para obtener el presupuesto total, se le añadirá el IVA, que supone un 16% del P.E.C.

2 ESTADO DE MEDICIONES

El estado de mediciones que a continuación se refleja debe cumplir las siguientes características señaladas:

- ▶ Definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra.
- ▶ Incluir el número de unidades y definir las características, modelos, tipos y dimensiones de cada partida de obra o elemento del objeto del proyecto.
- ▶ Utilizar el concepto de partida alzada cuando la unidad no sea fácilmente desglosable.
- ▶ Contiene un listado completo de las partidas de obra.
- ▶ Se subdivide según las partes más significativas del proyecto.
- ▶ Servir de base para la realización del presupuesto.

En base a estos requisitos, y estructurándose en los siguientes puntos, se desarrollará el estado de mediciones propuesto para el presente Proyecto:

- 1) Equipos del sistema de vapor.
- 2) Tuberías
- 3) Serpentín
- 4) Válvulas y accesorios
- 5) Control e instrumentación
- 6) Aislamiento
- 7) Gastos de instalación y montaje de equipos

1. Equipos del sistema de vapor

Equipos	Descripción	Unidades
Caldera	Proveedor VIESSMAN. Caldera Piro-tubular de baja presión Vitomax 100-LW, de 650 a 2000 kW. Incluye sistemas de seguridad, elementos de regulación (válvulas e instrumentación), bombas de alimentación e instalación eléctrica.	2
Desgasificador	Proveedor VIESSMAN. Desgasificador térmico, acero inoxidable AISI 316 cuerpo superior, A 516 Gr 70 cuerpo inferior.	1
Quemador	Proveedor VIESSMAN. Quemador mixto modulante gasóleo/gas natural de 1672 kW de potencia.	2
Unidad de Osmosis	Proveedor DINOTEC. Tratamiento de agua de alimentación para calderas. 98% de rechazo. Incluye válvula de control, membranas, depósito de almacenamiento, bomba accesorios e instrumentación.	1

TABLA 2.1: DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

2. Tuberías

Línea	Fluido	Material	Diámetro nominal (in)	Diámetro exterior (in)	Schedule	Longitud (m)
Vapor	Vapor de agua saturado	SA-285 Gr.A	6	6,625	5S	350
Condensación	Agua de condensado	SA-285 Gr.A	2	2,375	10S	250
Alimentación	Agua	SA-285 Gr.A	2	2,375	10S	3

TABLA 2.2: DESCRIPCIÓN DE LÍNEAS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

3. Serpentín

Descripción	Unidad
Serpentín tipo horquilla, 1 _{1/2} in, SA-285 Gr.A. Fluido calefactor vapor de agua saturado.	6

TABLA 2.3: DESCRIPCIÓN DEL SERPENTÍN.

4. Válvulas y accesorios

Accesorios	Descripción	Unidades
Válvula de control	Cuerpo de acero al carbono ASTM A126 B, DN 6 in	6
Válvulas de globo	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216, DN 6 in	6
Válvulas de compuerta	Cuerpo de acero al carbono ASTM A 216 WCB , DN 6 in	36
Válvulas de compuerta	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB , DN 2 in	12
Válvula Check	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216, DN 2 in	7
Purgadores	De boya cerrada en acero al carbono para descarga de condensado, conexiones con bridas	12
Codos largo de 90°	Acero al carbono SA-285, DN 6 in	10
Codos largo de 90°	Acero al carbono SA-285, DN 2 in	9
Conexiones en TE	Acero al carbono SA-285, DN 2 in	2
Conexiones en TE	Acero al carbono SA-285, DN 6 in	42
Reducciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 6x3 in	6
Reducciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 3x1½ in	6
Ampliaciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 1½x2 in	6

TABLA 2.4: DESCRIPCIÓN DE ACCESORIOS DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

5. Control e instrumentación

Instrumento	Descripción	Unidades
Manómetro de Presión	Fabricante KOBOLD, modelo NG160/RG76B055. Tipo de medida presión diferencial, rango de 0-4 bar, acero inoxidable AISI 304. Relleno de glicerina	6
Transmisor de presión	Fabricante SIEMENS AG., modelo SITRANS P serie MK II. Magnitud medida presión relativa, salida 4 a 20 mA. Material de caja fundición de aluminio baja en cobre, GD-ALSi12, Material en contacto con fluido acero inox.A316L.Relleno de aceite de silicona	1
Termómetro	Fabricante KOBOLD, modelo TBI-SRD061001R. Elemento de medición hélice bimetálica, rango de medida de 0-60°C	6
Transmisor de Temperatura	Fabricante ENDRESS HAUSER, modelo TMT182/122, interfaz HART con señal de medición de 4 a 20 mA, tipo de medida Pt100	6
Controlador de temperatura	Suministrador TC DIRECT, control PID versión estándar, código 305-155	6
Controlador de presión	CV CONTROL, serie YS 100	1

TABLA 2.5: DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

6. Aislamiento

AISLAMIENTO CONDUCCIONES		
Descripción	Longitud (m)	N° de cañuelas 0,91 m de longitud (unidad)
Cañuelas de lana mineral de roca de 2 in de espesor con foil de aluminio. Conductividad térmica 0,03 kcal/h·m·°C	350	385
Cañuelas de lana mineral de roca de 1½ in de espesor con foil de aluminio. Conductividad térmica 0,03 kcal/h·m·°C	250	275
AISLAMIENTO TANQUES		
Descripción	Superficie (m²/tanque)	Superficie total (m²)
Mantas aislantes de lana mineral de roca de 2 in de espesor. Conductividad térmica 0,03 kcal/h·m·°C	1.728	10.360

TABLA 2.6: DESCRIPCIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO.

7. Gastos de instalación y montaje de equipos

Comprende los costes derivados del uso de:

- ▶ materiales
- ▶ máquinas
- ▶ mano de obra del personal encargado de llevar a cabo la correcta instalación
- ▶ montaje de los equipos y redes de conducciones que componen el sistema de vapor.

2.1 Presupuesto parcial

A continuación se detallarán los precios unitarios de cada uno de los elementos que componen la instalación proyectada.

1. Equipos del sistema de vapor

Equipos	Unidades	Precio Unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Caldera	2	93.498	187.000
Desgasificador	1	24.660	24.660
Quemador	2	18.842	37.684
Unidad de Osmosis	1	30.000	30.000
Coste total partida equipos del sistema de vapor			279.344 €

TABLA 2.7: PRESUPUESTO DE PARTIDA DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE VAPOR PARA CALEFACCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

2. Tuberías

Línea	Diámetro nominal (in)	Unidad (m _l)	Precio Unitario (€/m _l)	Presupuesto parcial (€)
Vapor	6	350	120	42.000
Condensación	2	250	18	4.500
Alimentación	2	3	18	54
Coste total partida de tuberías			46.554 €	

TABLA 2.8: PRESUPUESTO DE PARTIDA DE TUBERÍAS.

3. Serpentín

Descripción	Unidad	Precio Unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Serpentín tipo horquilla, 1 1/2 in, SA-285 Gr.A.	6	84.938,50	509.631,00
Coste total partida de los serpentines			509.631,00 €

TABLA 2.9: PRESUPUESTO DE PARTIDA DEL SERPENTÍN.

4. Válvulas y accesorios

Accesorios	Descripción	Unidades	Precio Unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Válvula de control	Cuerpo de acero al carbono ASTM A126 B, DN 6 in	6	1.196	7.176
Válvulas de globo	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216, DN 6 in	6	643	3.858
Válvulas de compuerta	Cuerpo de acero al carbono ASTM A 216 WCB , DN 6 in	36	487	17.532
Válvulas de compuerta	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB , DN 2 in	18	153	2.754
Válvula Check	Cuerpo de acero al carbono ASTM A216, DN 2 in	7	363,1	2.541,70
Purgadores	De boya cerrada en acero al carbono para descarga de condensado, conexiones con bridas	12	334	4.008
Codos largo de 90°	Acero al carbono SA-285, DN 6 in	10	265,3	2.653
Codos largo de 90°	Acero al carbono SA-285, DN 2 in	9	65,5	589,50
Conexiones en TE	Acero al carbono SA-285, DN 2 in	14	121,80	1.705,20
Conexiones en TE	Acero al carbono SA-285, DN 6 in	36	234,6	8.445,60
Reducciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 6x3 in	6	175,16	1.050,96
Reducciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 3x1 1/2 in	6	105,56	633,36
Ampliaciones excéntricas	Acero al carbono SA-285, 1 1/2x2 in	6	46,67	280,02
Coste total partida de accesorios			53.227,34 €	

TABLA 2.10: PRESUPUESTO DE PARTIDA DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS

5. Control e instrumentación

Instrumento	Unidades	Precio Unitario (€)	Presupuesto parcial (€)
Manómetro de Presión	6	68,5	411
Transmisor de presión	1	195,35	195,35
Termómetro	6	47	282
Transmisor de Temperatura	6	515,74	3.094,44
Controlador de temperatura	6	364,3	2.185,80
Controlador de presión	1	427,1	427,10
Coste total partida de instrumentación			6.595,70 €

TABLA 2.11: PRESUPUESTO DE PARTIDA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN.

6. Aislamiento

AISLAMIENTO CONDUCCIONES			
Descripción	Nº de cañuelas	Precio Unitario (€/cañuela)	Presupuesto parcial (€)
Cañuelas de lana mineral de roca de 2 in de espesor.	385	20,65	7.950,25
Cañuelas de lana mineral de roca de 1½ in de espesor.	275	8,77	2.411,75
AISLAMIENTO TANQUES			
Descripción	Superficie (m²)	Precio Unitario (€/m²)	Presupuesto parcial (€)
Mantas aislantes de lana mineral de roca de 2 in de espesor.	10.368	5,38	55.779,84
Coste total partida del aislamiento			66.141,84 €

TABLA 2.12: PRESUPUESTO DE PARTIDA DEL AISLANTE TÉRMICO.

7. Gastos de instalación y montaje de tuberías y válvulas

Para determinar los gastos de instalación y montaje de las tuberías y los accesorios se multiplica el coste que suponen estas partidas por un factor cuyo valor es 1,5, obteniéndose el coste total (material, instalación y montaje).

Los gastos de instalación y montaje de tuberías y válvulas se determinan de la siguiente manera:

$$C_{inst.} = (C_{tuberías} + C_{accesorios}) \cdot 1,5 \quad (1)$$

donde:

$C_{inst.}$: son los gastos de instalación, en euros.

$C_{tuberías}$: es el coste total partida de las tuberías, en euros.

$C_{accesorios}$: es el coste total partida de los accesorios y válvulas, en euros.

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 1*:

$$C_{inst.} = [(46.554 + 53.227,34) \cdot 1,5] = 149.672 \text{ €}$$

Se obtiene un coste de **149.672 euros**.

3 Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)

En la *Tabla 3.1* se aprecian los presupuestos de partida vistos en el apartado anterior, la suma total de los costes de partida dan lugar al Presupuesto de Ejecución Material.

PARTIDAS		COSTES (€)
Equipos del sistema de vapor		279.344
Tuberías		46.554
Serpentín		509.631
Válvulas y accesorios		53.227,34
Control e instrumentación		6.595,70
Aislamiento		66.141,84
Gastos de instalación		149.672
P.E.M	1.111.165,90 €	

TABLA 3.1: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

El PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL del “Sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal” asciende a la cantidad de “UN MILLÓN CIENTO ONCE MIL CIENTO SESENTA Y CINCO EUROS con NOVENTA CÉNTIMOS”

Puerto Real, Septiembre 2009

Fdo: Eva M^a Correro Luque

4 Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C)

Añadiendo al Presupuesto de Ejecución Material el tanto por ciento en concepto de Gastos Generales y Beneficio Industrial, se obtiene del Presupuesto de Ejecución por Contrata.

El tanto por ciento al que se hace referencia viene definido por el artículo 68 del reglamento general de contratación del Estado.

CONCEPTO	COSTE (€)
P.E.M	1.111.165,90
Gastos generales (13%)	144.451,60
Beneficio industrial (12%)	133.339,90
I.V.A (16%)	177.786,54
P.E.C	1.566.743,94 €

TABLA 4.1: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.

El PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA del “Sistema de vapor para calefacción de tanques de almacenamiento de aceite vegetal” asciende a la cantidad de “UN MILLÓN QUINIENTOS SESENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS con NOVENTA Y CUATRO CENTIMOS”.

Puerto Real, Septiembre 2009

Fdo: Eva Mª Correro Luque

